

LCC Analysis to evaluate the economic sustainability of technological scenarios on the district scale. -  
LCC Analysis per valutare la sostenibilità economica di scenari tecnologici

*Original*

LCC Analysis to evaluate the economic sustainability of technological scenarios on the district scale. - LCC Analysis per valutare la sostenibilità economica di scenari tecnologici alla scala del district / Fregonara, Elena; Carbonaro, Corrado; Pasquarella, Omar. - In: VALORI E VALUTAZIONI. - ISSN 2036-2404. - STAMPA. - 21:(2018), pp. 59-73.

*Availability:*

This version is available at: 11583/2721582 since: 2020-01-27T10:34:55Z

*Publisher:*

DEI

*Published*

DOI:

*Terms of use:*

openAccess

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

*Publisher copyright*

(Article begins on next page)

# LCC Analysis to evaluate the economic sustainability of technological scenarios on the district scale

Elena Fregonara\*, Corrado Carbonaro\*\*,  
Omar Pasquarella\*\*\*

*key words:* economic sustainability,  
life cycle cost analysis on the district scale, global cost,  
energy retrofit, technological scenarios, urban regeneration

## Abstract

*The analysis of the alternative project technologies shapes up as a crucial passage to verify the economic-environmental sustainability and thereby steer the choices of Public Administrations and private investors on investing in the retrofit of assets towards Energy-Efficient Buildings. When it comes, however, to new construction or energy retrofit interventions on existing buildings or clusters of buildings, you cannot overlook to place them territorially within a broader infrastructural vision.*

*In the essay, we suggest to apply the Life Cycle Cost Analysis (LCCA) approach to assess the economic sustainability of optional technological scenarios. Assuming the methodological principles of the LCCA approach, amply explored on the building scale, we try to reason on the district scale, tackling the complexity that this broader scale perspective entails. At the same time, we suggest application of the LCCA approach to a case already targeted by a previous retrofit intervention: a “post retrofit intervention” viewed within a differently mature technological and market context.*

*We propose the simulation on a real case clarified by the “Concerto AL Piano” European project, developed as part of the “Concerto” programme, co-funded by the*

*European Commission’s Directorate General for Energy and Transport, in the September 2007 - August 2013 period.*

*We assume at the start the principle – emerging in the recent sector literature – that the integration between local energy production technologies (district heating by gas cogeneration, photovoltaic, solar heating energy) is preferable to project solutions aimed at maximising recourse to specific energy generation technologies, viewed separately. An integration of sources which, we hope, can simultaneously ensure a simple management and control.*

*The potential offered by switching from the single building scale to the territorial sub-segment one in the simultaneous presence of several energy sources, highlighted by the results, certainly entails an increased degree of complexity, at the level of systems and at an evaluative level. Complexity that might lead, however, to important openings for territorial governance and the definition of policies compatible with the energy containment objectives and with the required performance requirements while being, at the same time, economically and financially sustainable.*

## 1. INTRODUCTION

Currently, the redevelopment of the existing building stock, viewed within its territorial context, offers many openings

involving, as we know, a particularly energy-hungry sector. Given that the rate of replacement of existing buildings with new buildings is only approximately 1-3% per year, a quick

[ revamp of large scale retrofit measures is essential for a timely reduction in the global use of energy. It is moreover essential to reactivate the opportunities of investing in urban transformations which, eventually, might gradually change strategic areas of the cities, enabling the launch of processes of transformation to "smart cities": opportunities curbed as we know by the advent of the economic-financial crisis that has involved the property market and the construction sector [Brondino *et al.*, 2011; Fregonara *et al.*, 2017].

Due to this, defining the minimum energy requirements (Ministerial Decree No. 26/06/2015) with cost implications for new and existing buildings is a key aspect at European level. Thus it emerges from the international context of rules and policies for the energy-environmental sustainability of buildings, with significant impacts on the estimation and evaluation disciplines [Fregonara *et al.*, 2016]. In particular, the analysis of the alternative project technologies shapes up as a crucial passage to verify the economic-environmental sustainability and thereby steer the choices of Public Administrations and private investors on investing in the retrofit of assets towards Energy-Efficient Buildings [Gluch *et al.*, 2004; Schneiderova Heralova, 2014].

That said, the essay assumes the state of the art of theories and models for the economic assessment of the projects and, in relation to the international framework in the field of energy policies, it reconsiders it from a "technological-economic viewpoint". Firstly, we incorporate and develop some parts dealt with in the Laurea Magistrale Thesis in Architecture for the Sustainable Project, discussed at Politecnico di Torino by Omar Pasquarella in the 2015/2016 Academic Year, titled "Life Cycle Cost Analysis for the economic sustainability of new construction/energy retrofit interventions from building to district: the case of the "Concerto AL Piano" European project", Supervisor Elena Fregonara, Assistant Supervisor Corrado Carbonaro.

The focus is placed on the concept of "life cycle" incorporating objectives and principles of the Life Cycle Thinking [Glundes, 2016]: the life cycle is crucial for the decision-making processes in the presence of alternative technological options, on the different production/construction scales (single material, single component, building-plant scale systems) or at the different territorial levels (scale of complex transformation projects, district scale, urban scale) [Edwards *et al.*, 2003; Caputo *et al.*, 2013; Ristimäki *et al.*, 2013; Han *et al.*, 2014]. In particular, the Life Cycle Costing (LCC), or Life Cycle Cost Analysis (LCCA) approach, is assumed as supporting tool for decisions between project alternatives in the presence of criteria of efficiency, effectiveness, short/long-term costs and benefits [Gluch *et al.*, 2004]. Cornerstone of the LCC methodology (ISO 15686:2008 Standard – Part 5) is the concept of Global Cost (EN 15459:2007 Standard), which includes the energy costs of the buildings, the initial investments, and any residual value of the assets/components, compared to suitable annual discount rates.

The aim of the work is to test the LCCA approach on the district scale, transcending the more frequent applications developed on the building scale, already explored in the literature. Two are the expected levels of results: on the one hand, the replicability of the approach in the case of building complexes that are similar in terms of epoch, building type, construction characteristics, energy performance and, as it often happens, state of conservation; on the other hand, the extensibility of the LCCA approach from the individual building to urban territorial portions.

What is proposed is the simulation on a concrete case clarified by the European "Concerto AL Piano" project, developed as part of the "Concerto" programme, co-funded by the European Commission's Directorate General for Energy and Transport, in the September 2007 – August 2013 period. The "Concerto AL Piano" project, we should recall, assumed the goal of triggering urban regeneration processes on a building and district scale through the energy and environmental redevelopment of the existing fabric. By focusing on the "Cristo" district of the city of Alessandria, the project envisaged energy and architectural retrofit interventions on a residential complex owned by the Territorial Housing (ATC) of Alessandria, comprising 299 dwellings distributed across 11 residential buildings, a new residential complex called "new Eco-Village", made up of high energy-environmental sustainability apartments, a new Social Elderly (old-age home) owned by the ATC of Alessandria and the district heating network, powered by a gas cogeneration station [Pagani *et al.*, 2016]. The more general aim of the project was to prove that urban regeneration, through energy retrofit and the construction of new high sustainability buildings, should have taken place through integrated interventions capable of uniting the technological implementation logic, on the building scale, to the energy infrastructure one, on the district scale.

From an economic viewpoint, the case is particularly interesting as it refers to a real context, which couples energy retrofit interventions on existing buildings with new construction interventions, enabling us to reason, as we said earlier, on the urban district scale and by comparison with different technological (and regulatory) approaches [Pagani *et al.*, 2016].

That said, the aim of the research is to propose an operational method capable of:

- analysing different technological scenarios capable of meeting the energy performance requirements, with a view to identifying the preferable one in terms of economic sustainability;
- supporting the comparison between technological shapes limited to building scale equipment and interventions for shared energy infrastructure equipment on the district scale [Pagani *et al.*, 2016].

More precisely, it intends exploring whether the interventions on the urban district scale can ensure, at an energy-economic level, the accomplishment of preferable solutions – in optimal-cost terms –, compared to building scale interventions. The extension in scope of application

from building to district assumes moreover the potential advantages ensured by the replicability of the energy retrofit interventions on the existing building heritage, or in the case of large building operations that often intercept territorial sub-segments of homogeneous types and property value systems.

Given these premises, the essay is structured as follows: in section 1 we set out the reference regulatory framework on the topic. Section 2 is dedicated to the description of the application context, with regard to the chosen case-study. In section 3 we introduce the methodology, expressed as analysis of the expected energy consumption and economic analysis. In section 4 we illustrate the results of the energy-economic results. Section 5 concludes the writing.

## 2. REGULATORY FRAMEWORK

The crux of energy policies in the last decades lay, as we stated at the beginning, at the heart of the international political debate. In synergy with it, the scientific communities involved proved especially active in supporting, through methodological and application contributions, the definition of the policies themselves or the adoption and transposition of EU regulatory guidelines into local standards. The synopsis of rules revolves around two essential European directives and some international Standards, sharing the objective of promoting improved energy performance of buildings and standardising the methodological guidelines aimed at supporting the practical action thereof.

Hereunder we mention the main standards taken as reference for the work herein presented:

- Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast), Off. J. Eur. Union (2010);
- Guidelines accompanying Commission Delegated Regulation (EU) no. 244/2012 of 16 January 2012 supplementing Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council, Off. J. Eur. Union (2012) on the energy performance of buildings by establishing a comparative methodology framework for calculating cost-optimal levels of minimum energy performance requirements for buildings and building elements;
- Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC;
- Standard ISO 15686:2008, Buildings and constructed assets – Service-life planning, particularly Part 5: Life Cycle Costing, prepared by Technical Committee ISO/TC 59, Building construction, Subcommittee SC 14, Design life;
- Standard EN 15643-4: 2011, Sustainability of construction works - Assessment of buildings - Part 4: Framework for the assessment of economic performance;
- Standard EN 16627:2015 - Sustainability of construction

works. Assessment of economic performance of buildings - Calculation methods;

- Standard EN 15459:2007 - Energy performance of buildings - Economic evaluation procedure for energy systems in buildings.

## 3. EXPERIMENTATION CONTEXT

The “Concerto AL Piano” project stems from an initiative promoted by the European Commission. The title of “Concerto” was chosen in line with the idea that the suggested programmes envisaged participation by several social players to pursue ambitious objectives within urban transformation processes. The European programme, which involves 58 communities in 22 exemplary projects, aims to tackle, on an urban neighbourhood scale, the problems associated with the concept of sustainability with regard to the exploitation of renewable energy resources, given the objective of maximizing energy efficiency on the building and district scale.

Each Concert project tackles the complexity intrinsic to the urban transformation and regeneration processes, thanks to the deployment of multiple skills belonging to the world of the Public Administration, private investors and research. The experience of Concerto AL Piano has represented the opportunity to experiment the applicable “tactics” to accomplish the goal of energy sustainability on an urban scale: the integrated approach to urban planning finds its utmost meaning in the possibility of being strategically expanded and replicated in the cities. The generation of the Concerto projects has produced, within the technical directorates of the European Community, the experience necessary to move from the district scale to the city scale, taking stock of the Lessons Learnt and launching the new experimentation programme called “Smart Cities” [Mosannenzadeh *et al.*, 2017].

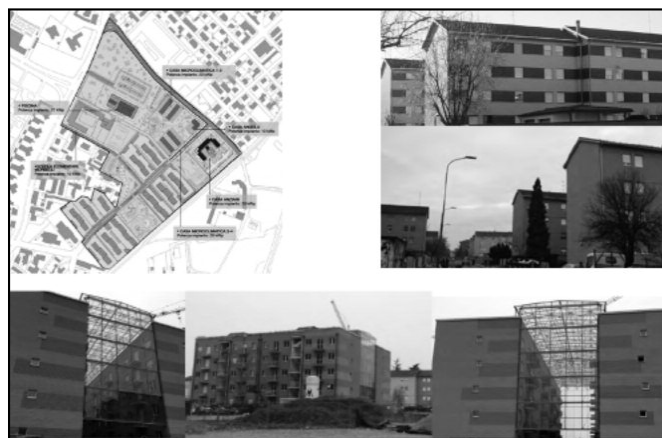
The city of Alessandria, by taking part in the “Concerto” project, had the chance to understand the importance of strategically planning the use of energy resources on an urban scale, fuelling new partnerships between public and private subjects and a more far-reaching know-how backed up by the discussion with other European realities and research contexts. The experience was in fact the starting point of a process that eventually led to subscribing the Covenant of Mayors. The latter, as we know, consists in an initiative of the European Community that involves cities in the development of Strategic Energy Action Plans, i.e. urban energy management plans, given the objective of reaching a 20% decrease in CO<sub>2</sub> emissions by 2020.

The “Concerto AL Piano” project area, already involved by a schedule of interventions envisaged by the District II Contract, is exemplary as a portion with large urban voids and with significant social integration problems, urban and building decay and lack of services. The area in question is one of the many voids present in the urban periphery, an interstice between social housing plots, built without any integration with the existing. A quick reading of the territory

evinces the breaks that compromise the urban fabric, the voids that characterise its discontinuity, and the old territorial matrices (from farmsteads to urban fortifications), still visible but denied by the post-World War II divisions.

The project puts forward solutions capable of remedying problems in fragmented and degraded urban contexts with a correct redevelopment of the existing, promoting a broader social diversity, building new houses and services and equipping infrastructures for exploiting renewable energy sources, thereby regenerating the urban fabric.

Lastly, the European “Concert” project enabled local institutions to render the urban regeneration project more ambitious, thanks to the possibility of relying on the expertise and skills of the European partners involved and to the further incentives for energy sustainability on the district and building scale, based on the exploitation of renewable sources.



**Figure 1** - “Concerto AL Piano” project area. Renew: public housing buildings before and after retrofit. New: micro-climatic houses

More precisely, the project envisages an integrated approach to planning, shared by all the stakeholders (municipality, professionals, institutions, inhabitants, companies), with interventions both on a building scale, implementing its enclosure and heating system equipment, and on a district scale, through the creation of a new “District Heating” powered by a methane cogeneration station. Such a project choice stems from the intention typical of the projects within the Concert programme: ascertaining the economic and energy convenience of distributed energy generation, with local district-based cogeneration stations powered by renewable sources. The experiments of the last decade suggest in fact that widespread generation can yield advantages both in economic terms and in terms of global efficiency of the urban energy system [Manfredi *et al.*, 2011; Martin-Martinez *et al.*, 2017].

In the energy simulations developed within the scope of the project, solutions have been identified that, though sharing

the principles of a multiple-scale planning, were able to maximize mutually alternative technological configurations. The range of solutions, on a territorial scale, discloses energy performances from class F to class A4, as per the classification set out in Ministerial Decree No. 26/06/2015 on minimum energy requirements of buildings.

At a strategic level, an urban regeneration programme has been developed that we could sum up under four essential points:

- Participatory planning for the identification of shared objectives and communication of the results accomplished;
- Planning with analysis methods of the energy-environmental sustainability, with a view to checking and simulating the results of project choices;
- Recourse to integrated technological systems and efficient and uncommon architectural types, to ensure high performances within the scope of energy sustainability and housing comfort;
- Verification and monitoring of the results to validate the methods to replicate in other parts of the city and eventually intervene should the need arise to implement the results.

On a tactical level, the project contemplates instead the implementation of three lines of intervention:

- New – construction of new residential eco-buildings and a new district heating network, powered by a cogeneration station for a total of 104 dwellings;
- Re-New – redevelopment of a social housing complex with 300 dwellings owned by the Territorial Housing Agency of the Province of Alessandria (ATC);
- New Social Elderly – creation of a new old-age home by the ATC of Alessandria, to host a community of elders in a low energy consumption residential building;
- Retrofit – promotion of energy redevelopment interventions on a vast urban area of Alessandria, for the purposes of spreading the culture of sustainability, obtaining widespread information on building quality and the technological equipment of the urban fabric, and developing a macro-scale intervention strategy pursuant to the energy model built on the strength of the feedback received by the redevelopment action.

#### 4. METHODOLOGICAL FRAMEWORK

The main body of the study is founded on a two-phase analysis: 1) analysis of the expected energy consumption; 2) economic analysis. More precisely, the results of phase 1) converge, as input data, into phase 2).

At the end of phase 2), the final solutions are highlighted, in terms of preferable solutions from an energy-economic viewpoint.

Phase 1) – assessment of the expected energy consumption, revolves in turn around the following passages:

- identification of energy-efficient solutions to improve the energy performance of the enclosure of buildings and the building-plant system by improving the enclosure components, the connection to the district heating network and the equipment of plants for the production of energy from renewable sources;
- definition of different scenarios based on combinations of mutually alternative technological solutions;
- calculation of primary energy consumption for each scenario, following calculation of requirements for winter air-conditioning, production of domestic hot water and electricity for domestic use;
- comparison of the technological scenarios in relation to the relevant expected energy consumption.

Phase 2) - economic assessment, revolves in turn around the following passages:

- calculation of the Life Cycle Cost for each scenario, in terms of Global Cost, hence in respect of the entire lifecycle of the buildings and incorporating the results of the analysis of expected energy consumption;
- calculation of the economic performance indices through the Life Cycle Cost Analysis approach;
- comparison of the economic indicators of the alternative scenarios to the "basic scenario";
- identification of critical variables and development of the Sensitivity Analysis (deterministics);
- identification of the preferable solution from both an energy and an economic viewpoint.

Hereunder recalled are some detailed methodological aspects.

### 4.1 Analysis of energy consumption: methodological aspects

We can summarise the methodology adopted for the analysis of actual energy consumption of the existing systems and for the analysis of the forecast energy consumption of newly constructed buildings in the following points:

- the primary energy consumption of existing buildings, both preceding and following the retrofit interventions, are quantified pursuant to the electricity and heating consumption drawn from the bills issued by the ATC of Alessandria for the 2006-2012 period;
- the primary energy consumption of newly constructed buildings (New Eco Village and New Social Elderly) is calculated via simulations produced using the TERMUS software (produced and distributed by ACCA software S.p.A.), in conformity with the UNI EN ISO 11300 standard - part 1;
- the expected consumption figures relating to the electricity and heating production plants using renewable sources are calculated through the TERMUS software in accordance with the UNI EN ISO 11300 standards - parts 4 and 5;

- calculation of energy production from cogeneration and heating and electricity distribution plant is carried out pursuant to simulations performed by the company in charge of the district heating network project in the 2011 version, coinciding with an 86.5% first-law performance, 39.6% of the total of which is dedicated to the production of electricity (work not implemented and replaced pursuant to the project produced by another company providing energy services);
- calculation of the primary energy input due to the presence of solar greenhouses is done by using the TERMUS software, in conformity with the UNI EN ISO 11300 standard - part 1;
- the analysis of thermal energy saved as a result of exploiting the solar Atrium technology is simulated considering, in the phase of energy budget of the buildings, the walls facing the micro-climatic atrium and facing unheated rooms pursuant to the UNI EN ISO 11300 standard - part 1;
- the value adopted for the heat losses due to dispersions of the district heating network is equal to 10%, in relation to the indications provided by the report headed "Fact-finding investigation on the district heating sector (IC 46)";
- the value adopted for the dispersions due to the distribution and transport of electricity produced by the cogenerator coincides with that of the small distribution networks: 2,2 % (Source: Electricity and Gas Authority);
- in case of electricity collection directly from the national grid, we took into account a 0.413, performance in view of the amount of generation, distribution and transport inefficiencies;
- the input data relating to heating conductivity, vapour permeability and density of envelope materials are drawn from the technical data sheets of the materials adopted in the building interventions, whereas for the existing walls they are assumed in relation to the database of the TERMUS software, consistently with the UNI EN ISO 1600 standard - part 1.

### 4.2 Economic analysis: methodological aspects

From an economic viewpoint, we propose application of the LCCA approach, whose methodological foundation can be traced, as we mentioned, in the ISO 15686-5:2008 Standard - Buildings and constructed assets – Service-life planning (document drawn up by the ISO/TC 59 Technical Committee, Building construction, Subcommittee SC 14, Design life). We assume in particular the methodology set out in Part 5 - Life Cycle Costing.

As we know, the approach is used to quantify and compare alternative project proposals, in terms of costs and potential savings, viewed in respect of the entire life cycle and in respect of significant cost categories (Flanagan, 1983; Schmidt, 2003; Fregonara *et al.*, 2017 a,b). Usually, in the real estate intervention projects one compares through the LCCA approach, pursuant to efficiency and effectiveness

criteria, various technological solutions that might be referred to single components, single materials, systems or whole buildings. It is then useful to remember that the approach is suitable for dealing with both new construction interventions and energy adjustment /retrofit interventions on existing buildings, including the case of historic assets. The general purpose of the method is in fact to compare solutions on the basis of the relevant costs in the life cycle, or to define preferability rankings between mutually alternative projects.

In the recent literature we can trace applications that pay regard to systems on the building scale (for instance, lighting, heating-cooling, hot water production systems), focusing on the quantification of short- or long-term costs and potentially produced benefits (usually in the form of savings, or “negative costs”).

The results are normally expressed through the calculation of such quantitative indicators as: Net Present Value (NPV), Net Present Cost (NPC), Net Savings (NS), Simple/ Discounted Pay Back Period (SPB/DPB), Savings to Investment Ratio (SIR), and Adjusted Internal Rate of Return (AIRR). Of essence to the calculation is the prior availability of input data on the significant costs, on the cost profiles of each option, and of financial data (Langdon, 2007; König *et al.*, 2010).

The heart of the LCCA method is calculation of the Global Cost as per the terms defined in the EN 15459:2007 Standard, later specified in the relevant Guidelines and in the Commission Delegated Regulation (EU) No. 244/2012, issued pursuant to Directive 2010/31/EU – EPBD recast. As is known, calculation of the Global Cost traces us back to two possible approaches: the global cost method and the annuity method. The former is here proposed by analogy with the consolidated methods for assessing the economic feasibility of the projects (particularly with the Discounted Cash-flow Analysis approach which, like the LCCA approach, evinces a calculation formulation based on discounted cash flows).

Formally, as recalled in recent studies (Corrado *et al.*, 2014; Becchio *et al.*, 2015) the Global Cost envisages the sum of the initial investment costs (not discounted), to which we should then add the sum of the annual costs incurred during the exercise of the asset, within the reference time span (useful life), after deducting the final residual values, all of them discounted. The final residual values can be present where the systems/components disclose a longer useful life than the whole building. Formally, the generated model proves to be as follows [EN 15459:2007]:

$$C_G(\tau) = C_I + \sum_j \left[ \sum_{i=1}^{\tau} (C_{a,i}(j) \cdot R_d(i)) - V_{f,\tau}(j) \right]$$

where:  $C_G(\tau)$  = global cost (referred to the initial year  $\tau_0$ );  $C_I$  = initial investment costs;  $C_{a,i}(j)$  = annual cost in the year  $i$  of component  $j$ , which includes the annual operating costs (costs for energy, operating costs, maintenance costs) and

periodic replacement costs;  $R_d(i)$  = discount factor during the year  $i$ ;  $V_{f,\tau}(j)$  = residual value of component  $j$  at the end of the calculation period, referred to the initial year. The costs must be suitably analysed, as they refer to the entire calculation period; formally, the  $R_d$  discount factor looks like:

$$R_d(p) = \left( \frac{1}{1 + \frac{r}{100}} \right)^p$$

where:  $p$  is the number of years and  $r$  represents the real discount rate, defined in relation to the territorial context in which the analysis is situated.

In a nutshell, calculation of the Global Cost proposed in this study is founded on the following assumptions:

- to perform the calculation, we adopt the “global cost method” (alternative to the annuity method);
- the initial investment costs relate to the new construction/retrofit interventions prefigured in accordance with different technological scenarios. In particular, for the existing buildings account is taken of the costs of energy retrofit through heating systems and technological implementation envelope measures; for the new buildings, regard is paid to the construction costs;
- account is taken, among the significant costs, of the operating and maintenance costs;
- (any) residual value of the assets/systems/components/materials and the end-of-life/disposal costs are not taken into consideration.

Formally, calculation of the global cost – simplified here compared to the generalised model and without considering, moreover, any residual value of the assets/systems/components/materials and the end-of-life/disposal costs - revolves around the following equation:

$$LCC = C_i + \sum_{t=0}^N \frac{C_o + C_m}{(1+r)^t}$$

where:  $LCC$  represents the cost in the life cycle;  $C_i$  represents the initial investment costs;  $C_o$  represents the operating and energy (or management) costs;  $C_m$  represents the maintenance costs,  $t$  the year in which the costs arise and  $N$  the number of years included within the timespan taken into account for the application; and  $r$  represents the discounting rate.

It should be noted that the input data relating to the significant cost items are usually inferred from market analyses, by comparison with similar interventions, or from pre-established databases, or even from investigations conducted among fiduciary sources (sector operators). The choice of reference timeframe for the calculation – being a very delicate passage – is made pursuant to the estimated life of the building and its technological components. Some

indications on the lifespans, of systems and components as well, can be inferred from the guidelines set out in the document headed Commission Delegated Regulation (EU) No. 244/2012, in addition to the European Standard EN 15459:2007 (Annex A).

Moving from the premise of these methodological assumptions, we set the aim of identifying the preferability ranking of a set of scenarios, predefined in relation to different technological solutions, or Energy Efficiency Measures (EEMs), by developing the economic analysis set out in section 4.

## 5. ANALYSIS OF EXPECTED ENERGY CONSUMPTION AND ECONOMIC ANALYSIS

As mentioned earlier, to apply the LCC analysis we must possess data on the energy performance of the buildings in relation to alternative scenarios (EEMs), a prerequisite that each technology included in the project solutions implies different costs and different performance levels; out of these scenarios, we will have to select the preferable solution, or the relevant preferability ranking in economic and energy terms.

### 5.1 Analysis of energy consumption: application

The analysis of the expected energy consumption is produced starting from the prefiguration of 6 scenarios obtained by distinguishing, as regards each one of them, the portion of new construction/retrofit and by identifying the relevant EEMs. The latter are expressed on the strength of different technological implementation approaches on a building and on a district scale: envelope system, installation system, infrastructural and energy equipment servicing the urban area under examination. The analysis carried out does not take into account the New Social Elderly intervention, as we are not in possession of all the data relating to the costs incurred for the construction of the building.

Accordingly, the cost referred to the creation of the cogeneration plant and district heating network has been parameterised on the basis of the areas actually used in the analysis of the scenarios under investigation.

The simulations on the expected consumption levels of the 6 scenarios are carried out in respect of the performance requirements prescribed by the reference legislation (Regional Council Decree No. 43-46/2009, Ministerial Decree No. 26/06/2015, prescriptions until 2021), in respect of the factual state and of the project indications.

The various scenarios differ, by comparison, from the intervention concretely implemented in the "Concerto AL Piano" project (called Scenario 3), according to the following envelope and plant technological strategies:

- the state of affairs prior to the completed retrofit interventions with the estimated assessment of energy consumption for the New Eco-Village, as if it had been built according to the limits enjoined by the 2009 regional

legislation (Regional Council Decrees 43 and 46 of 2009) (Scenario 1);

- the "Concert AT THE Plan" project, reconsidered in the condition in which the buildings have envelope-related thermal transmittance values in line with the 2009 reference regulatory framework and for which the thermal and electrical energy is supplied by the cogeneration district station, supplemented by the one self-produced on the newly constructed buildings that cover, respectively, 60% of the expected energy requirement for hot water and 31% of the electricity requirement (Scenario 2);
- the "Concerto AL Piano" project, modified in such a manner that the buildings have envelope-related thermal transmittance values in line with the limits set until 2021 (Ministerial Decree of 26/06/2015), to thereby maximise the generation of energy on a building scale (eliminating any district-based technological and energy integration strategy) and ensure that the energy requirement is fully met thanks to the production of energy from a solar source backed up by condensing boiler (for the peak in demand and as back-up), storage system and control and management unit (Scenario 4);
- the project in all respects similar to Scenario 4 except for the technological envelope equipment, in this case identical to that concretely implemented in "Concerto AL Piano" (Scenario 5);
- the "borderline" design structure, which adopts the technological integration strategy on a district scale by resorting to the use of absorption surfaces for solar technologies of the common and public areas servicing the buildings in the intervention area, maximising the use of photovoltaic energy on the building scale, combined with a thermal plant with air-water heat pumps, and equipping the buildings with envelope technologies identical to those actually implemented in the European project (Scenario 6).

The alternative scenarios are thus compared with Scenario 3, taken as base-case.

Scenarios 4, 5 e 6 are characterised by the maximisation of solar technologies, which require a very extensive absorption surface. The choice of adopting such scenarios is made in order to ascertain what is economically preferable, the adoption of a technology in which costs are largely supported by forms of State funding that directly impinge on the ownership of the property (65% of the investment cost can be deducted tax-wise in 10 annual instalments according to Law No. 205 of 27/12/2017). Maximisation of the absorption surface certainly demands a very extensive quantity of well-exposed absorption surface, which in the case of Scenario 6 consists in 6650 m<sup>2</sup> of photovoltaic panels.

Aware of the difficulty that application of such energy measure entails, especially in an urban area, albeit one equipped with abundant green spaces, the choice was taken to operate in that sense in order to represent a



“borderline case” of systemic approach to energy-environmental design on a district scale. It should be noted that, realistically, it would be necessary to enter beforehand into specific agreements with the public institutions with a view to placing platform roofs and canopies in the green spaces acting as support to the generation of private energy: the private subjects, by donating a share of the tax deductions, would pay for the occupation of the exposed surfaces of the platform roofs whilst retaining the advantage of an energy generation from renewable source that is nevertheless economically convenient. The local government would instead be able to subsidise, at least in part, the creation of small urban infrastructures (platform roofs, canopies, small buildings for the management and maintenance of the public spaces) by virtue of the sale of the covered areas with the best solar exposure.

Through the TERMUS programme for energy certifications, consumption data corresponding to the 6 different intervention scenarios have been identified.

As evinced by Figure 2, the primary energy consumption level progressively decreases the more technological solutions on a building scale are integrated with energy production measures on the district scale. Especially for renewable sources, the need for useful, sunny and not shaded space is not always available on the roofs and facades of the buildings: the possibility of resorting to common surfaces, which implement production, proves to be the most convenient from an energy viewpoint.

Consistently, the different performances of the analysed scenarios correspond to different Energy Classes, as evinced by Figure 2.

By comparing the results of the simulation of primary energy consumption for winter air conditioning, for hot water consumption and electricity production for domestic use, it is clear that:

- the comparison between the project area consumption before and after the “Concerto AL Piano” project (Scenario 1 vs. Scenario 3) highlights the fact that the selected technological measures are especially effective for the retrofit intervention of the ATC residential complex, for which we obtain an approximate 60% reduction in consumption levels that causes the energy class D to be reached, whereas for the New Eco Village the reduced difference of enclosure solutions and the switch from a standard hot water heater (2009 standard) to the district heating network entails little more than the jump of one energy class (13% decrease in expected primary energy consumption);
- the comparison between Scenario 2 and Scenario 3 highlights the fact that for the new constructions the Concerto AL Piano solutions yield results that are 5% better than legal prescriptions for 2021, by virtue of the superior technological enclosure equipment, whereas for the retrofit the interventions of isolation and replacement of doors and windows in Scenario 2 occasion a 36% decrease in expected primary energy consumption;

- the comparison between Scenarios 4 and 5 shows that, where the plant equipment is the same, the project that resorts to more efficient dispersion-containment measures obviously achieves a better result; such a comparison further underlines that, as widely reported in the scientific literature [Mancarella, 2014], the most effective intervention is characterised by an integrated implementation capable of involving the whole building-plant system (and not just one of the two);
- since the energy classification method applied to buildings does not take into account the primary energy consumption met by a renewable source, Scenario 5, which envisages equal enclosure technologies while maximising recourse to solar energy sources in lieu of gas cogeneration sources, albeit highly effective, proves to be preferable to Scenario 3 as regards both new interventions (42% decrease in expected primary energy consumption) and redevelopment interventions (59% decrease in expected consumption);
- the comparison between the three scenarios that use only solar energy sees Scenario 6 as the most sustainable one energy-wise, inasmuch as it exploits more efficiently, for the thermal energy part, the photovoltaic electricity, produced thanks to the coupling with a high-efficiency air-water heat pump (Coefficient of Performance > 4).

Assessment of the energy budget of the district targeted by intervention highlights the fact that on an urban sector scale it is important to develop projects that seek to simultaneously ensure fulfilment of the following three conditions:

1. integrated assessment of the entire building-plant system and not only of the enclosure or the heating and electricity systems;
2. maximised use of renewable sources;
3. widespread energy generation by integrating the building-scale production systems with district-scale ones, through the exploitation, agreed with local institutions, of common furnishings and equipment for widespread energy generation (such as the covering of platform roofs facing south).

The implementation of widespread infrastructures (solar systems for energy production) or concentrated ones (cogeneration stations with district heating network) servicing the district occasions, moreover, the possibility of reducing the marginal expenditure costs for energy. In this connection, we can assume that if the community organised itself as a “single user” for the supply of energy relating to the urban area of transformation (for instance as a local consumer association), it would no doubt possess greater contractual strength vis-à-vis energy service providers, thereby deriving greater economic benefits.

## 5.2 Economic analysis: application

The aim of the economic analysis is to compare the aforementioned alternative technological scenarios, with a

Table 1 - Intervention scenarios

SIMULATIONS AND ANALYSIS OF THE RESULTS:															
PROJECT SCENARIOS		TECHNOLOGICAL INTEGRATION AT THE NEIGHBORHOOD LEVEL	REFERENCE OF BUILDING ENVELOPE TRANSMITTANCE	LOW EFFICIENCY BOILER (η = 0.8)	 (U <sub>W</sub> W/mK)			 (U <sub>W</sub> W/mK)	CONDENSING BOILER (η = 0.9)	HEAT PUMPS FOR HEATING AND DHW	BASIC BOILER (η = 0.75)	 COGENERATION SYSTEM	NATIONAL ELECTRIC SYSTEM	 SOLAR THERMAL SYSTEM	 PHOTOVOLTAIC SYSTEM
ENERGY SOURCE				NATURAL GAS					NATURAL GAS	SOLAR POWER BY PV	NATURAL GAS	NATURAL GAS	MIXED ENERGY SOURCE (national energy mix)	SOLAR POWER	SOLAR POWER
- SCENARIO 1	NEW	NO	D.G.R. 42-46/2009	----	0.30	0.33	0.33	2.00	100% heating and 40% DHW demand	----	60% DHW demand	----	Domestic use only	60% DHW demand	----
	RE-NEW		BEFORE REFURBISHMENT (2009)	100% heating and DHW demand	(1.00)	(0.92)	(1.58)	2.00	----	----	Domestic use only	----	----		
- SCENARIO 2	NEW	YES	D.M. 26/06/2015	----	0.26	0.26	0.22	1.40	----	----	----	remaining shares of H <sub>2</sub> , DHW and El. demand, 100% El and DHW demands	----	60% DHW demand	31% El demand
	RE-NEW	District energy cogeneration CHP and solar technologies	MINIMUM REGULATORY VALUES FROM 2021	----	0.29	(0.92)	0.32	2.00	----	----	----	----	----	----	----
- SCENARIO 3	NEW	YES	CONCERTO AL PIANO VALUES	----	0.22	0.21	0.20	1.60	----	----	----	remaining shares of H <sub>2</sub> , DHW and El. demand, 100% El and DHW demands	----	60% DHW demand	31% El demand
	RE-NEW	District energy cogeneration CHP and solar technologies	CONCERTO AL PIANO VALUES	----	0.29	(0.92)	0.32	2.00	----	----	----	----	----	----	----
- SCENARIO 4	NEW	YES	D.M. 26/06/2015	----	0.26	0.26	0.22	1.40	For peaks demand and back-up	----	----	----	----	100% heating and DHW demand	100% El demand
	RE-NEW	Solar technologies on public neighborhood surface	MINIMUM REGULATORY VALUES FROM 2021	----	0.29	(0.92)	0.32	2.00	----	----	----	----	----	----	----
- SCENARIO 5	NEW	YES	CONCERTO AL PIANO VALUES	----	0.22	0.21	0.20	1.60	For peaks demand and back-up	----	----	----	----	100% heating and DHW demand	100% El demand
	RE-NEW	Solar technologies on public neighborhood surface	CONCERTO AL PIANO VALUES	----	0.29	(0.92)	0.32	2.00	----	----	----	----	----	----	----
- SCENARIO 6	NEW	YES	CONCERTO AL PIANO VALUES	----	0.22	0.21	0.20	1.60	100% heating and DHW demand	----	----	----	----	----	100% El demand of Heat pumps
	RE-NEW	Solar technologies on public neighborhood surface	CONCERTO AL PIANO VALUES	----	0.29	(0.92)	0.32	2.00	----	----	----	----	----	----	----
* H = Heating    E = Electricity    DHW = Domestic Hot Water															

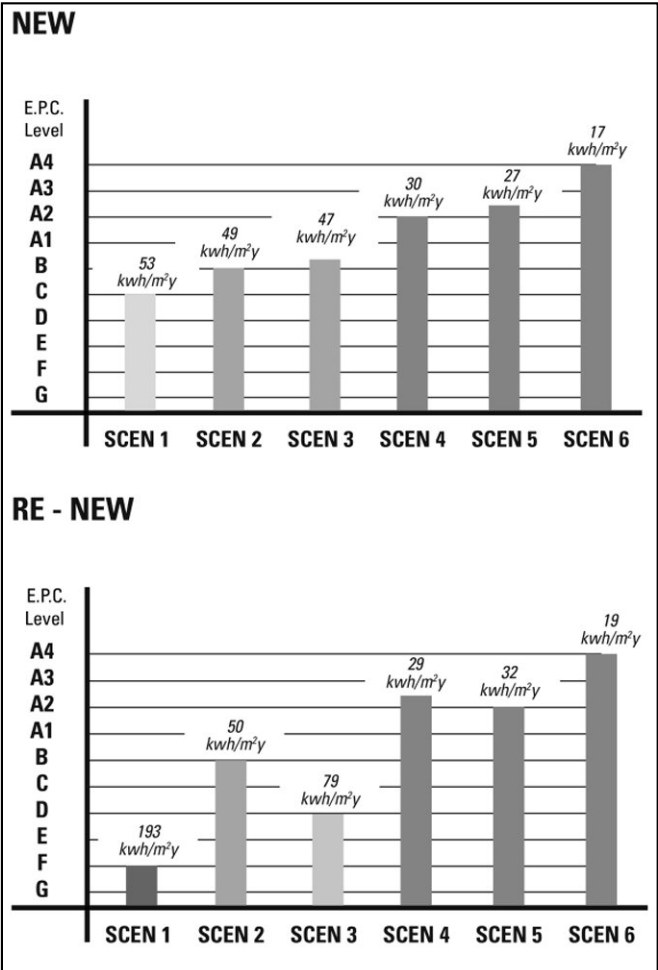


Figure 2 - Energy performance of the intervention Scenarios

view to supporting the definition of technological design strategies on a district scale, assuming two starting premises:

1. ensuring the comparability between all the scenarios by retaining the characteristics of the implemented

“Concerto AL Piano” project, as developed within a single context;

2. updating the construction, plant and management costs, in order to provide as current a project framework as possible.

The first condition is ensured through maintenance for all the scenarios of the same types of intervention, modifying only some technological enclosure or plant equipment. Moreover, to avoid altering the economic context within which the “Concerto AL Piano” project was developed, across all the scenarios the framework of tax deductions and incentives resulting from national standards and from the funds coming from the European Union was retained. The projects of the European “Concerto” programme, in fact, envisaged incentives equalling 30% of the costs incurred for the energy efficiency measures relating to:

- enclosures of existing or newly constructed buildings,
- energy generation plants using renewable sources;
- district heating networks powered by cogeneration stations on the district scale fuelled by renewable sources (mainly biomass).

In the case, therefore, of the “Concert AT THE Plan”, the cogeneration intervention and the related district heating network cannot be the recipient of European funding since the station set up is powered by methane gas rather than biomass.

The other incentive items taken into account in the economic analysis relate to the IRPEF (Income Tax on Natural Persons, pursuant to Law No. 205 of 27/12/2017) tax defuctions which, concerning the “Concerto AL Piano” project, can be summarised as follows:

- 65% tax deductions for energy production plants powered by renewable source, as regards both retrofit and new construction;
- 65% tax deductions of the costs of restructuring interventions to render the enclosure efficient and replace the heating and hot water production plants;
- 50% tax deductions of the costs incurred for the

restructuring and ordinary maintenance interventions not ascribable to interventions to implement the energy efficiency of the building.

The second condition, relating to the updating of intervention costs, is guaranteed through the prompt identification of all the restructuring and construction costs for the residential buildings and the energy plants of the project as set out in Table 2. The construction and retrofit costs of the buildings are deducted from estimated meter calculations relating to the executive projects. The values recorded date back to the period between 2009 and 2013, later discounted pursuant to the

average inflation rate for the 2009-2017 period made equal to 1.13% (source: ISTAT). As set out in Table 2, some cost items are instead updated to the last two-year period, in relation to current average prices.

The updating of the costs has accordingly involved the following items:

- costs for the photovoltaic panels, affected by a significant drop especially as regards supply;
- plant maintenance costs;
- costs for the heating system, not envisaged in the project implemented in "Concerto AL Piano" (heat pumps, condensing boilers, thermal energy management and storage systems).

The updating process concerns also the cost of thermal energy and electricity, whose value chosen for the analysis coincides with the values provided by Regulatory Authority for Energy Networks and Environment - ARERA, as at 2018.

The economic analysis, in fact, besides the construction cost, includes also the ordinary and extraordinary maintenance costs, as well as the costs relating to energy supply over a 20-year time span, adopted as temporal horizon.

Pursuant to the methodological indications of the ISO 15686-5:2008 standard, the "significant" cost items and the related data, set out in Table 2, have been identified for the LCCA application.

Operationally speaking, the LCCA application was performed through calculation of the Global Cost and calculation of the economic performance indicators envisaged by the model; in particular, the following have been calculated: Net Present Value – NPV, Pay-Back Period Simple/Discounted – SPB/DPB, Savings to Investment Ratio – and SIR, Adjusted Internal Rate of Return – AIRR.

The following financial input data have been assumed for the analysis:

- the discount rate, assumed to be equal to 2.5% defined in relation to the investment-linked risk. The risk is deemed to be quite moderate by virtue of such considerations as the specific market in which the intervention is located, the potential savings generated by the retrofit interventions, the tax deductions, and the exploitation of the assets;
- the time span covered by the analysis made equal to 20

**Table 2 - "Relevant" costs per Scenarios: investment, operating and management costs**

SUPPLY, PROVISION, INSTALLATION AND MANAGEMENT COSTS COMMON TO NEW E RENEW PROJECTS		
TYPE OF DATA	COST	REFERENCES
ELECTRIC POWER SUPPLY	0,25 €/KWh	ARERA 1° quarter 2018 (daily single rate)
HEATING AND DHW SUPPLY	0,11 €/KWh	ARERA 1° quarter 2018
PHOTOVOLTAIC PROVISION AND INSTALLATION	2420 €/Kwp	Energia.it (April 2017 data)
SOLAR THERMAL PROVISION AND INSTALLATION	1795 €/m <sup>2</sup>	Concerto AL Piano data (2014)
District energy cogeneration CHP (Including costs for the heating district network)	2.361.972 €	Concerto AL Piano data (2014)
District heating network costs	668 €/m	Piedmont regional price list for public works (2016)
HEAT PUMP PROVISION AND INSTALLATION exchanger 350 kw + water storage tank 470 l.	9,485 €	Piedmont regional price list for public works (2016)
COGENERATION SYSTEM MAINTENANCE	8 €/Mwh	Confindustria.it (April 2017 data)
SOLAR THERMAL SYSTEM MAINTENANCE	15 €/m <sup>2</sup>	Confindustria.it (April 2017 data)
PV SYSTEM MAINTENANCE	40 €/Kwp	Confindustria.it (April 2017 data)
COAT INSULATION PROVISION AND INSTALLATION (wood fiber)	25 €/m <sup>2</sup>	Concerto AL Piano data (2014)
PROVISION AND INSTALLATION OF ROOF SPACE INSULATION (EPS)	18 €/m <sup>2</sup>	Concerto AL Piano data (2014)
PROVISION AND INSTALLATION OF FIRT'S FLOOR INSULATION (EPS)	13 €/m <sup>2</sup>	Concerto AL Piano data (2014)
WINDOWS SYSTEMS PROVISION AND INSTALLATION (U1,2 W/mq)	330 €/m <sup>2</sup>	Concerto AL Piano data (2014)
WINDOWS SYSTEMS PROVISION AND INSTALLATION (U1,6 W/mq)	400 €/m <sup>2</sup>	Concerto AL Piano data (2014)
PROVISION AND INSTALLATION COSTS OF NEW ECO-VILLAGE (NEW)		
GENERAL INTERVENTIONS	€	REFERENCES
CONSTRUCTION WORKS		Concerto AL Piano data (2014)
PROVISION AND INSTALLATION BUILDING TECHNOLOGY SYSTEMS		Concerto AL Piano data (2014)
OUTDOOR ACCOMMODATION WORKS		Concerto AL Piano data (2014)
PASSIVE SYSTEMS (GREENHOUSES AND ATRIUM)		Concerto AL Piano data (2014)
WORKS AND EQUIPMENT FOR ECOLOGICAL ISLAND PLATFORM		Concerto AL Piano data (2014)
DESIGN ACTIVITIES		5% of construction costs
incentives taken into account in the simulation	%	REFERENCES
BUILDING RENOVATION WORKS	-	Law No. n° 205 of 27/12/2017
HEATING SYSTEMS REPLACEMENT (PROVISION AND INSTALLATION)	-	Law No. n° 205 of 27/12/2018
THERMAL SOLAR SYSTEMS (PROVISION AND INSTALLATION)	65	Law No. n° 205 of 27/12/2019
ENVELOPE RETROFIT WITH APPLICATION OF HIGH EFFICIENCY SYSTEMS	-	Law No. n° 205 of 27/12/2020
RETROFITTING COSTS OF ATC RESIDENTIAL COMPLEX (RENEW)		
GENERAL INTERVENTIONS	€	REFERENCES
CONSTRUCTION WORKS		Concerto AL Piano data (2014)
PROVISION AND INSTALLATION BUILDING TECHNOLOGY SYSTEMS		Concerto AL Piano data (2014)
OUTDOOR ACCOMMODATION WORKS		Concerto AL Piano data (2014)
PASSIVE SYSTEMS (GREENHOUSES AND ATRIUM)		Concerto AL Piano data (2014)
WORKS AND EQUIPMENT FOR ECOLOGICAL ISLAND PLATFORM		Concerto AL Piano data (2014)
DESIGN ACTIVITIES		5% of construction costs
incentives taken into account in the simulation	%	REFERENCES
BUILDING RENOVATION WORKS	50	Law No. n° 205 of 27/12/2017
HEATING SYSTEMS REPLACEMENT (PROVISION AND INSTALLATION)	50	Law No. n° 205 of 27/12/2018
THERMAL SOLAR SYSTEMS (PROVISION AND INSTALLATION)	65	Law No. n° 205 of 27/12/2019
ENVELOPE RETROFIT WITH APPLICATION OF HIGH EFFICIENCY SYSTEMS	65	Law No. n° 205 of 27/12/2020

years, given the life span of the technological element of shortest duration included in the intervention project (photovoltaic/solar heating system).

Moreover, we assume Scenario 1 as basic comparison scenario inasmuch as, for the same, no retrofit interventions on the existing buildings are contemplated but only the mere construction of new buildings pursuant to the regulatory prescriptions laid down in Regional Council Decrees 43 and 46 of 2009. Due to this, in the comments set out hereunder no regard is paid to Scenario 1. For the same reasons, we assume the omission from the illustration of results of the the Net Savings (NS) indicator, since the same is calculated as difference between the "LCC base-case" application and the "LCC comparison case" application, for each Scenario: if the base-case, as in this application, does not envisage comparable intervention measures, the indicator proves not to be significant.

The values obtained by calculating the indicators have been summarised in Table 3, with a special focus on the acceptability conditions for each indicator.

**Table 3 - Summarised results of the LCC Analysis.**  
*Economic performance indicators*

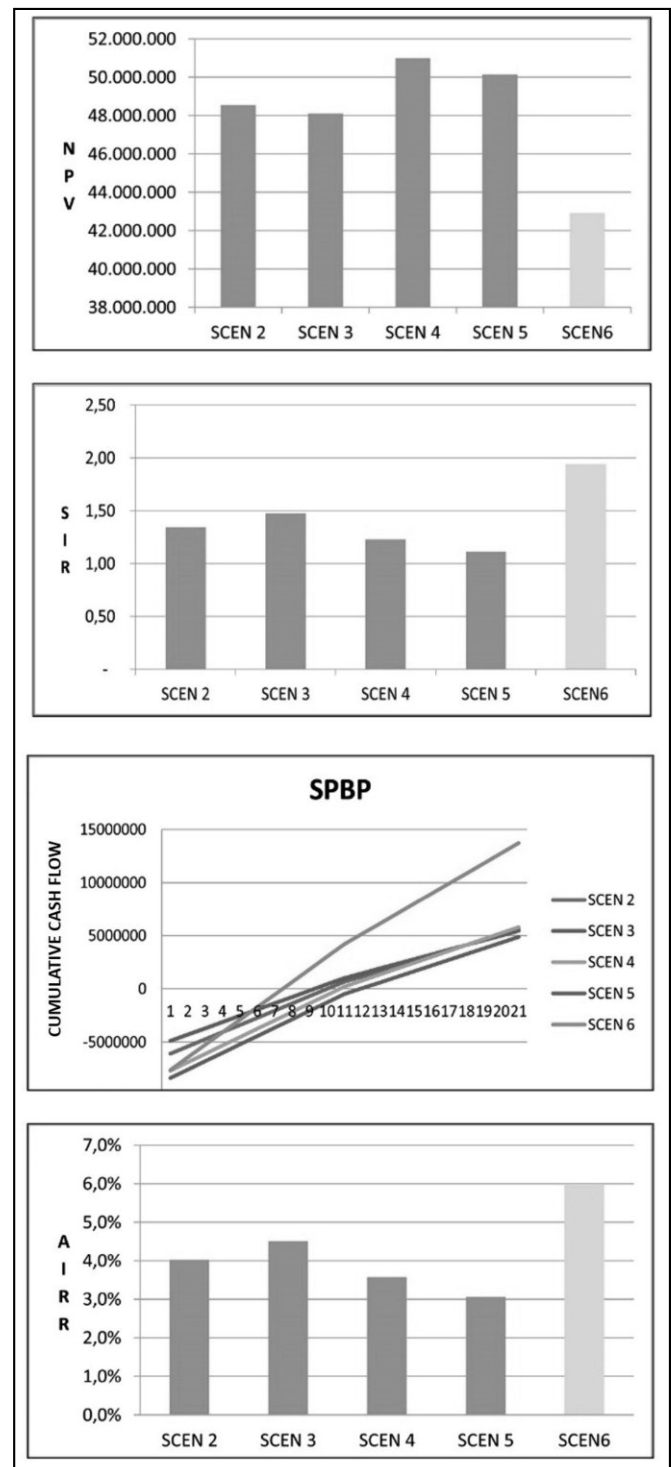
	NPV (Global Cost) (Euro)	SIR	AIRR	SPB (Year)	DPB (Year)
Feasibility conditions	As low as possible	acceptable > 1 non accept. < 1	acceptable > 2.5% non accept. < 2.5%	As low as possible	
Scenario 2	48543323	1.63	5.0%	8	9
Scenario 3	48109799	1.76	5.4%	7	8.5
Scenario 4	51003631	1.51	4.6%	8.5	10
Scenario 5	50138844	0.40	4.2%	9	11
Scenario 6	42899117	2.23	6.7%	6	7

In Figure 3, we show the results in graphical form including, for the sake of completeness, the graph of the calculated comparative SPBP trends.

A reading of Table 3 and Figure 3 lends preference to Scenario 6 that anticipates, let us remember, envelope characteristics of the immovable properties similar to those of Scenario 3, but with a plant system capable of totally meeting the energy requirement through photovoltaic solar panels. The Net Present Value (NPV) is in fact the lowest possible one compared to the comparable Scenarios assuming a value of EUR 42899117; the Savings to additional Investment Ratio (SIR) is > 1, in particular 2.23; the Adjusted Internal Rate of rRturn (AIRR) value is higher than the discount rate applied for calculation of the NPV (2.5%), assuming a 6.7% value. Moreover, the Simple Pay-Back period (SPB), calculated through the cumulated flow, proves to be comparatively the shortest (6 years, discounted 7 years).

## 5.3 Energy analysis and economic analysis: comments on the results

To conclude the analysis, we should compare the performances of the different scenarios, identifying the



**Figure 3 - Economic performance indicators: graphical representation**

most convenient measures from both an energy and an economic viewpoint, considering also the margins of uncertainty due to the forecasting character of the evaluation.

As hinted at earlier, from a joint reading of the results Scenario 6 proves to be the most convenient one, making full use of tax deductions (which the district heating network does not avail itself of) and, at the same time, using in the most efficient manner only the renewable energy source thanks to the coupling with high-efficiency heat pumps. It is nonetheless true, however, that the useful surface needed to meet requirements is excessively significant and scarcely available within a large/medium-density urban area. Just as we should consider that recourse merely to photovoltaic energy, if not associated with storage systems of the energy produced, would imply either an over-production in some periods of the year and the day (if the system was designed to ensure the daily requirement in the winter season as well) or the need for energy during the cold season, if designed solely in accordance with the expected annual requirement.

It is moreover interesting to note how the implemented project, Scenario 3, proves to be the most appealing after the “borderline” case (Scenario 6); in line, that is, with the international literature that sees in the integrated exploitation of energy sources the best energy procurement system, especially on a district scale. The recourse to solar technologies and to the local district heating network, powered by the cogeneration station, represents the most convenient scenario in an economic sense as well.

If we then analyse the results by comparing the performances of the different, specific technological components used in the different scenarios (by for instance comparing plant characteristics with envelope performances), we can observe various “preferability rankings”. Without dwelling on the merits of the individual results obtained by the application, it is interesting to note, as a general behaviour, that not always an intervention capable of producing optimal performances from an energy viewpoint proves to be the preferable one in terms of global cost containment as well. More generally, the results of the energy analysis and the economic analysis applied to alternative options often prove not to be interrelated.

This complexity data is the target, moreover, of recent studies inclined to testing operational methods for the production of joint energy-environmental and economic analyses that assume, as basic principle, the need to reason in terms of global performance (Thiebat, 2013; Fregonara *et al.*, 2013).

The remarks hitherto put forward are supported, lastly, by the deterministic Sensitivity Analysis, applied beginning with the preliminary identification of the critical variables. More specifically, account is taken of the costs for replacing doors and windows, for the supply and installation of the insulation, for the cogenerator, for the photovoltaic plant, for the solar heating plant, and lastly for the energy costs.

The results of the sensitivity analysis, graphically expressed in Figure 4, highlight the fact that a variation, albeit minimal, of the insulation package cost is capable of significantly affecting the indicators, even without subverting the final result.

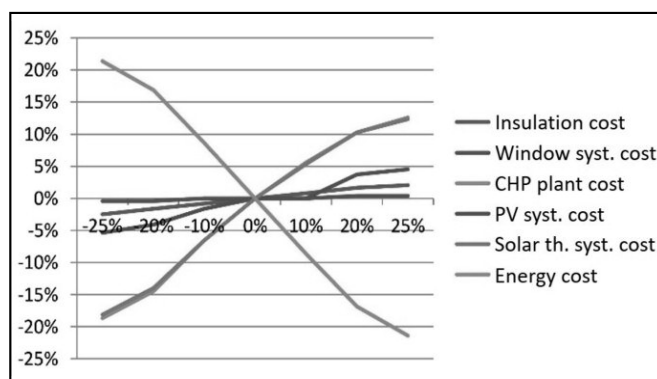


Figure 4 - Sensitivity Analysis

The steepest curves in the spider graph represent, let us remember, the variables that can affect the results the most.

In conclusion, it is still useful to stress, from a purely economic viewpoint, that following the interventions prefigured by the different scenarios positive impacts are expected in terms of exploitation, on the whole district scale, of the assets therein included. Impacts traceable on the one hand to the redevelopment of the entire territorial sub-segment, and on the other hand to the Energy Class shift that concerns the products. Even this confirms the growing sensibility of the real estate market towards the energy performance characteristics of the properties, with returns on the sectoral research. The energy performance of the building complexes is a quality element that is translating into value, eventually affecting the conduct of both public and private subjects involved in the market choices and in the decision-making processes (Morano *et al.*, 2017; Bottero *et al.*, 2017).

## 6. CONCLUSIONS

The work illustrated was the opportunity to try out the LCCA approach on a real context, referred to a circumscribed territorial scale and yet entailing a significant shift compared to the dimension more usually dealt with – the building –, with impacts in terms of research and experimentation. It has represented, moreover, the opportunity to test application of the LCCA approach to a case already targeted by a previous retrofit intervention: a “post retrofit intervention” viewed within a differently mature technological and market context.

It has furthermore enabled comparison between a project developed on an urban district scale, based on the principle that the more convenient approach is the integration between local energy production technologies (district heating by gas cogeneration, photovoltaic, solar heating energy), and a project capable of maximising recourse to a solar energy generation technology, at the same time easy to manage and control (especially for the scenario where photovoltaic energy alone is resorted to).

Aside from the results of the methodological application, the study has aimed to stimulate reflection over the potential offered by switching from the single building scale to the territorial sub-segment one in the simultaneous presence of several energy sources, with all the implications and complexities, at the level of systems and at an evaluative

level, which is entailed thereby. Complexity that might lead, however, to important openings for territorial governance and the definition of policies compatible with the energy containment objectives and with the required performance requirements, while being simultaneously, sustainable from an economic and financial viewpoint.

\* **Elena Fregonara**, *Architecture and Design Department, Politecnico di Torino.*

e-mail: elena.fregonara@polito.it

\*\* **Corrado Carbonaro**, *Architecture and Design Department, Politecnico di Torino.*

e-mail: corrado.carbonaro@polito.it

\*\*\* **Omar Pasquarella**, *Architect.*

e-mail: omarpasquarellaarchitetto@gmail.com

## Acknowledgments

We would like to thank Professor Roberto Pagani, coordinator of the "Concerto AL Piano" European project, for his willingness to assist and the fundamental methodological and scientific support. A special thanks to the ATC of Alessandria for the precious synergy that developed within the project, to the Municipality of Alessandria, and to the construction companies taking part in the "Council", for the collaboration on technical and professional issues, essential to the implementation of the "Concerto AL Piano" project.

## References

BECCHIO C., FERRANDO D., FREGONARA E., MILANI N., QUERCIA C., SERRA V., *The cost optimal methodology for evaluating the energy retrofit of an ex-industrial building in Turin*, *Energy Procedia*, n. 78, 2015, pp.1039-1044.

BOTTERO M., BRAVI M., MONDINI G., TALARICO A., *Building Energy Performance and Real Estate Market Value: an Application of the Spatial Autoregressive (SAR) Model*, in Stanghellini S., Morano P., Bottero M., Oppio A., *Appraisal: From Theory to Practice*, Springer, Berlin, 2017, pp. 221-230.

BRONDINO G., CURTO R., FREGONARA E., *Mercato crisi finanziaria: aspetti interpretativi e valutativi*, *Valori e Valutazioni*, 6, 2011, pp. 91-99.

CAPUTO P., COSTA G., FERRARI S., *A supporting method for defining energy strategies in the building sector at urban scale*, *Energy Policy* 2013, 55, pp. 261-270.

CORRADO V., BALLARINI I., PADUOS S., *Assessment of cost-optimal energy performance requirements for the Italian residential building stock*, *Energy Procedia*, 45, 2014, pp. 443-452.

DECREE OF THE PRESIDENT OF THE ITALIAN REPUBLIC DPR 59, 2009, *Regulations for the application of the article 4, comma 1, letters a) e b), of the Legislative Decree 19 August 2005, no. 192, concerned with the application of the directive 2002/91/CE on energy efficiency of buildings (in Italian)*, *Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana* n. 132, June 10, 2009.

DIRECTIVE 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC e 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC e 2006/32/EC.

DM 26/2/2017, "Decreto interministeriale 26 giugno 2015 -

*Adeguamento linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici".*

EDWARDS S., BENNETT P., *Construction products and life-cycle thinking*. *Industry and Environment*, 2003, 26, 2, pp. 57-61.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN), *Standard EN ISO 15459:2007, Energy performance of buildings - Economic evaluation procedure for energy systems in buildings*, Brussels, 2007.

EUROPEAN PARLIAMENT, *Guidelines accompanying Commission Delegated Regulation (EU) No 244/2012 of 16 January 2012 supplementing Directive 2010/31/EU*, Brussels, 2012.

EUROPEAN PARLIAMENT, *DIRECTIVE 2010/31/EU of the European Parliament and of Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast)*. *Official Journal of the European Union*, Brussels, 2010.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). *Standard EN ISO 15643-4: 2011. Sustainability of Construction*.

WORKS-ASSESSMENT OF BUILDINGS-PART 4: *Framework for the Assessment of Economic Performance*; European.

COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, Brussels, 2011.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). *Standard EN ISO 16627: 2015. Sustainability of Construction*.

WORKS - *Assessment of Economic Performance of Buildings-Calculation Methods*; European Committee for Standardization, Brussels, 2015.

EUROPEAN STANDARD EN 13790. *Thermal performance of buildings - Calculation of energy use for space heating. Distributed through the Comité Européen de Normalisation (International Committee on Standardization)*, Brussels, 2005.

[  
EUROSTAT. Available online: [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Electricity\\_price\\_statistics](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Electricity_price_statistics) (accessed on 10 February 2017).

FLANAGAN R., NORMAN G., *Life Cycle Costing for Construction*, Royal Institution of Chartered Surveyors, London, 1983.

FREGONARA E., CURTO R., GROSSO M., MELLANO P., ROLANDO D., TULLIANI J.M., *Environmental Technology, Materials Science, Architectural Design, and Real Estate Market Evaluation: A Multidisciplinary Approach for Energy-Efficient Buildings*, Journal of Urban Technology, N. 20, 2013, pp. 57-80.

FREGONARA E., GIORDANO R., ROLANDO D., TULLIANI J.M., *Integrating Environmental and Economic Sustainability in New Building Construction and Retrofits*. Journal of Urban Technology, 2016, 23, 3-28.

FREGONARA E., GIORDANO R., FERRANDO D. G., PATTONO S., *Economic-Environmental Indicators to Support Investment Decisions: A Focus on the Buildings' End-of-Life Stage*, Buildings, Vol. 7, n. 3, 2017 a, pp. 1-20.

FREGONARA E., LO VERSO V.R.M., LISA M., CALLEGARI G., *Retrofit scenarios and economic sustainability. A case-study in the Italian context*. Energy Procedia, vol. 111C, 2017 B, pp. 245-255.

FREGONARA E., ROLANDO D., SEMERARO P., *Energy performance certificates in the Turin real estate market*, Journal of European Real Estate research, 10, 2, 2017, pp. 149-169.

GLUCH P., BAUMANN H., *The life cycle costing (LCC) approach: a conceptual discussion of its usefulness for environmental decision-making*, Building and Environment, 2004, 39,5, pp.571-580.

GOH B.H., SUN, Y., *The development of life-cycle costing for buildings*. Building Research and Information, 2015, 44,3, pp. 319-333.

GUNDES S., *The Use of Life Cycle Techniques in the Assessment of Sustainability*, Procedia of Social and Behavioral Sciences, 216, 2016, pp. 916-922

HAN G., SREBRIC J., ENACHE-POMMER E., *Variability of optimal solutions for building components based on comprehensive life cycle cost analysis*, Energy and Buildings, 2014, 79, pp. 223-231.

ITALIAN MINISTRY FOR THE ECONOMIC DEVELOPMENT, *National guide lines for building energy certification*, Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana no. 158, July 10, 2009.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 15686:2008; Buildings and Constructed Assets - Service-Life*

PLANNING-PART 5: LIFE CYCLE COSTING; *ISO/TC 59/CS 14*; International Organization for Standardization, Geneva, 2008.

ITALIAN ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *UNI 8290-1:1981-Residential Building. Building Elements. Classification and Terminology*; Italian Organization for Standardization (UNI), Milan, 1981.

LANGDON D., *LIFE CYCLE COSTING (LCC) as a contribution to sustainable construction: a common methodology – Final*

*methodology*, 2007, [http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/construction/studies/life-cycle-costing\\_en.htm](http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/construction/studies/life-cycle-costing_en.htm).

KÖNIG H., KOHLER N., KREISSIG J., LÜTZKENDORF T., *A life cycle approach to buildings. Principles, Calculations, Design tools*, Detail Green Books, Regensburg, 2010.

MANCARELLA P., *MES (multi-energy systems): An overview of concepts and evaluation models*, Energy, Volume 65, 1 February 2014, Pages 1-17.

MANFREN M., CAPUTO P., COSTA G., *Paradigm shift in urban energy systems through distributed generation: Methods and models*, Applied Energy, Volume 88, Issue 4, April 2011, Pages 1032-1048

MARTÍN-MARTÍNEZ F., SÁNCHEZ-MIRALLES A., RIVIER M., CALVILLO C.F., *Centralized Vs Distributed Generation. A Model to Assess The Relevancfe of some Thermal and Electric Factors*. application to the spanish case study, Energy, Vol. 134, 1 September 2017, pp. 850-863.

MORANO P., TAJANI F., *The Break-Even Analysis applied to urban renewal investments: a model to evaluate the share of social housing financially sustainable for private investors*, Habitat International, vol. 59, 2017, pp. 10-20.

MOSANNENZADEH F., DI NUCCI M.R., VETTORATO D., *Identifying and prioritizing barriers to implementation of smart energy city projects in Europe: An empirical approach*, Energy Policy, Volume 105, June 2017, Pages 191-201.

PAGANI R.; SAVIO L.; CARBONARO C., *Lessons Learnt from an Urban Community: the "Concerto AL Piano" experience*. In: 9th International Conference Improving Energy Efficiency in Commercial Buildings and Smart Communities, Frankfurt, Germany, 16-18 March 2016. pp. 113-123.

PAGANI R., CARBONARO C., LORENZO S., *Conterto AL Piano : a sustainable urban demonstration project*, SBE16 Towards Post-Carbon Cities, Torino, 2016, pp. 459-468.

PAGANI R., SAVIO L., CARBONARO C., BOONSTRA C., DE OLIVEIRA FERNANDES E., *Concerto AL piano*. Sustainable urban transformations. FrancoAngeli, milano, 2016, pp. 1-171.

REGIONE PIEMONTE, *Prezzi di Riferimento per Opere e Lavori Pubblici Nella Regione Piemonte*; Torino, Assessorato alle opere Pubbliche, 2016.

RISTIMÄKI M., SÄYNÄJOKI A., HEINONEN J., JUNNILA S., *Combining life cycle costing and life cycle assessment for an analysis of a new residential district energy system design*, Energy, 2013, 63,15, pp. 168-179.

SCHMIDT W.P., *Life Cycle Costing as Part of Design for Environment: Business Cases*, International Journal of Life Cycle Assessment, n. 8, 2003, pp. 167-174.

SCHNEIDEROVA HERALOVA R., *Life Cycle Cost Optimization Within Decision Making on Alternative Designs of Public Buildings*, Procedia Engineering, 2014, 85, pp. 454-463.

THIEBAT F., *Life-cycle design for sustainable architecture*, Techne, n. 5, 2013, pp.177-183.

UNI/Ts 11300-1, *Building energy performance - Part 1: Evaluation of the energy need for space heating and cooling*, 2014.

UNI/Ts 11300-2, *Building energy performance - Part 2: Evaluation of the primary energy need and of system efficiencies for space heating and domestic hot water production*, 2014.

UNI/Ts 11300-4:2016 - *Prestazioni energetiche degli edifici – Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di genera-*

*zione per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria.*

5- UNI/Ts 11300-5:2016 - *Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 5: Calcolo dell'energia primaria e della quota di energia da fonti rinnovabili.*





# LCC Analysis per valutare la sostenibilità economica di scenari tecnologici alla scala del district

Elena Fregonara\*, Corrado Carbonaro\*\*, Omar Pasquarella\*\*\*

parole chiave: sostenibilità economica, life cycle cost analysis alla scala del district, global cost, retrofit energetico, scenari tecnologici, urban regeneration

## Abstract

*L'analisi delle alternative tecnologiche di progetto si profila quale passaggio cruciale per la verifica della sostenibilità economico-ambientale e, di conseguenza, per orientare Amministrazioni Pubbliche e operatori privati nelle scelte di investimento nel retrofit dei patrimoni verso Energy-Efficient Buildings. Per interventi di nuova costruzione o di retrofit energetico di edifici esistenti o di complessi di edifici, non si può però prescindere da una loro collocazione territoriale e da una più ampia visione infrastrutturale.*

*Nel saggio si propone l'applicazione dell'approccio Life Cycle Cost Analysis per valutare la sostenibilità economica di scenari tecnologici opzionali. Assumendo i principi metodologici dell'approccio LCCA, ampiamente esplorati alla scala del building, si prova a ragionare alla scala del district, affrontando la complessità che questa più ampia prospettiva di scala comporta. Al contempo, si propone l'applicazione dell'approccio LCCA su un caso già oggetto di un precedente intervento di retrofit: un "intervento di post retrofit" inquadrato in un contesto tecnologico e di mercato diversamente maturo.*

*Si propone la simulazione su un caso reale enucleato dal progetto europeo "Concerto AL Piano", sviluppato all'in-*

*terno del programma "Concerto", cofinanziato dal Dipartimento Generale Energia e Trasporti della Commissione Europea, sviluppato nel periodo settembre 2007 – agosto 2013.*

*Si assume in premessa il principio – emergente nella recente letteratura di settore – che una strategia progettuale a scala territoriale che integri differenti tecnologie di produzione energetica (teleriscaldamento da cogenerazione a gas, fotovoltaico, solare termico), sia preferibile a soluzioni focalizzate su singole tecnologie di generazione di energia (solo fotovoltaico, solo cogenerazione o solo solare termico), rinunciando a infrastrutture energetiche a scala di distretto urbano.*

*Le potenzialità offerte passando dalla scala del singolo edificio alla scala del sub-segmento territoriale e in presenza di più fonti energetiche, evidenziate dai risultati, comportano certamente un cresciuto grado di complessità, a livello di sistemi e a livello valutativo. Complessità che può portare, però, ad importanti aperture per la governance territoriale e la definizione di politiche coerenti con gli obiettivi di contenimento energetico, con i requisiti di performance richiesti e, al contempo, sostenibili sul piano economico-finanziario.*

## 1. INTRODUZIONE

Attualmente la riqualificazione dello stock edilizio esistente, considerato nel suo contesto territoriale, offre mol-

te aperture interessando come noto un settore particolarmente energivoro. Considerato che il tasso di sostituzione di edifici esistenti con edifici nuovi è solamente 1-3% all'an-

[ no circa, un rapido rilancio di misure di retrofit a larga scala è essenziale per una tempestiva riduzione dell'uso globale di energia. Inoltre, è essenziale per riattivare le opportunità di investire in trasformazioni urbane che, in prospettiva, potranno gradualmente cambiare aree strategiche delle città, permettendo l'avvio dei processi di trasformazione a "smart cities": opportunità com'è noto frenate dall'avvento della crisi economico-finanziaria che ha coinvolto il mercato immobiliare e il settore delle costruzioni [Brondino et al., 2011; Fregonara et al., 2017].

Per questo, la definizione dei requisiti energetici minimi (D.M. 26/06/2015) con implicazioni a livello di costi, per edifici nuovi e esistenti, è un aspetto chiave a livello europeo. Così emerge dal quadro internazionale delle regole e delle politiche per la sostenibilità energetico-ambientale degli edifici, con rilevanti ricadute per le discipline estimali e valutative [Fregonara et al., 2016]. In particolare, l'analisi delle alternative tecnologiche di progetto si profila quale passaggio cruciale per la verifica della sostenibilità economico-ambientale e, di conseguenza, per orientare le Amministrazioni Pubbliche e gli operatori privati nelle scelte di investimento nel retrofit dei patrimoni verso *Energy-Efficient Buildings* [Gluch et al., 2004; Schneiderova Heralova, 2014].

Ciò premesso, nel saggio si assume lo stato dell'arte di teorie e modelli per la valutazione economica dei progetti e, in relazione al quadro internazionale in materia di politiche energetiche, lo si rivisita in chiave "tecnologico-economica". Come premessa, si recepiscono e si sviluppano alcune parti trattate nella Tesi di Laurea Magistrale in Architettura per il Progetto Sostenibile, discussa presso il Politecnico di Torino da Omar Pasquarella nell'A.A. 2015/2016, dal titolo "Life Cycle Cost Analysis per la sostenibilità economica di interventi di nuova costruzione/retrofit energetico dal building al district: il caso del progetto europeo "Concerto AL Piano", Relatore Elena Fregonara, Correlatore Corrado Carbonaro.

Il fuoco è poi posto sul concetto di "life cycle" recependo obiettivi e principi del *Life Cycle Thinking* [Glundes, 2016]: il ciclo di vita è cruciale per i processi di *decision-making* in presenza di opzioni tecnologiche alternative, alle diverse scale di produzione/costruzione (singolo materiale, singolo componente, sistemi alla scala di edificio-impianto) o a diversi livelli territoriali (scala dei progetti di trasformazione complessi, scala del *district*, scala urbana) [Edwards et al., 2003; Caputo et al., 2013; Ristimäki et al., 2013; Han et al., 2014]. In particolare, si assume l'approccio *Life Cycle Costing (LCC)*, o *Life Cycle Cost Analysis (LCCA)*, quale strumento di supporto alle decisioni fra alternative di progetto in presenza di criteri di efficienza, di efficacia, di costi e benefici nel breve/lungo termine [Gluch et al., 2004]. Fondamento della metodologia LCC (Standard ISO 15686:2008 - Part 5) è il concetto di *Global Cost* (Standard EN 15459:2007), che include i costi energetici degli edifici, gli investimenti iniziali, l'eventuale valore residuo dei beni/componenti, rapportati ad opportuni saggi di sconto annuali.

Obiettivo del lavoro è sperimentare l'approccio LCCA alla

scala del *district*, superando le più frequenti applicazioni sviluppate alla scala del *building*, già esplorato in letteratura [Goh et al., 2015]. Due sono i livelli di risultati attesi: da un lato, la replicabilità dell'approccio nel caso di complessi edilizi simili per epoca, tipologia edilizia, caratteristiche costruttive, prestazione energetica e, come spesso avviene, stato di conservazione; dall'altro, l'estendibilità dell'approccio LCCA dal singolo edificio a porzioni territoriali urbane.

Si propone la simulazione su un caso concreto enucleato dal progetto europeo "Concerto AL Piano", sviluppato all'interno del programma "Concerto", cofinanziato dal Dipartimento Generale Energia e Trasporti della Commissione Europea, nel periodo settembre 2007 – agosto 2013. Il progetto "Concerto AL Piano", si ricorda, assumeva l'obiettivo di innescare processi di rigenerazione urbana a scala di edificio e di quartiere, attraverso la riqualificazione energetica e ambientale del tessuto esistente. Focalizzandosi sul quartiere "Cristo" della città di Alessandria, il progetto prevedeva interventi di retrofit energetico e architettonico di un complesso residenziale di proprietà dell'Agenzia Territoriale per la Casa (ATC) di Alessandria, comprensivo di 299 alloggi distribuiti in 11 edifici residenziali, un nuovo complesso residenziale denominato "nuovo Eco-Villaggio", composto da 104 appartamenti ad elevata sostenibilità energetico-ambientale, una nuova residenza per anziani di proprietà dell'ATC Alessandria e la rete di tele riscaldamento di quartiere, alimentata da una centrale di cogenerazione a gas [Pagani et al., 2016]. L'intento più generale del progetto era dimostrare come la rigenerazione urbana, attraverso il retrofit energetico e la realizzazione di nuovi edifici ad elevata sostenibilità, doveva avvenire attraverso interventi integrati in grado di unire le logiche di implementazione tecnologica, alla scala dell'edificio, a quelle di infrastrutturazione urbana, alla scala del quartiere.

Dal punto di vista economico, il caso è particolarmente interessante perché si riferisce ad un contesto reale, che affianca interventi di retrofit energetico di edifici esistenti a interventi di nuova costruzione, consentendo di ragionare come detto alla scala di distretto urbano e per comparazione con approcci tecnologici (e normativi) differenti [Pagani et al., 2016].

Ciò considerato, obiettivo della ricerca è la proposta di una modalità operativa in grado di:

- analizzare scenari tecnologici differenti in grado di rispondere ai requisiti di performance energetica, al fine di individuare quello preferibile in termini di sostenibilità economica;
- supportare il confronto fra configurazioni tecnologiche limitate a dotazioni alla scala di edificio e interventi per la dotazione di infrastrutture energetiche condivise alla scala di quartiere [Pagani et al., 2016].

Più precisamente, si vuole esplorare se gli interventi alla scala del distretto urbano possano garantire, a livello energetico-economico, il raggiungimento di soluzioni preferibili – in termini costo-ottimali –, rispetto ad interventi alla scala dell'edificio. L'estensione dell'ambito di applicazione

dal *building* al *district* assume peraltro i potenziali vantaggi resi dalla replicabilità degli interventi di retrofit energetico sul patrimonio edilizio esistente, o nei casi di grandi operazioni edilizie che spesso intercettano sub-segmenti territoriali omogenei per tipologie e sistemi di valori immobiliari.

Alla luce di queste premesse, il saggio si articola come segue: nella sezione 1 si presenta il quadro normativo di riferimento sul tema. La sezione 2 è dedicata alla descrizione del contesto di applicazione, con riferimento al caso-studio prescelto. Nella sezione 3 si presenta la metodologia, declinata in analisi dei consumi energetici attesi e analisi economica. In sezione 4 si illustrano i risultati dell'analisi energetico-economica. La sezione 5 conclude lo scritto.

## 2. FRAMEWORK NORMATIVO

Il nodo delle politiche energetiche negli ultimi decenni è stato, come detto in apertura, al centro del dibattito politico internazionale. In sinergia, le comunità scientifiche coinvolte si sono dimostrate particolarmente attive nel supportare, con contributi metodologici e sperimentazioni applicative, la definizione delle politiche stesse o il recepimento e trasposizione degli indirizzi normativi comunitari in norme di livello locale. Intorno a due Direttive europee fondamentali e ad alcuni Standard internazionali si articola la sinossi delle norme, accomunate dall'obiettivo di promuovere il miglioramento delle performance energetiche degli edifici e di uniformare gli indirizzi metodologici volti a supportarne le azioni pratiche.

Di seguito sono menzionate le principali norme assunte a riferimento per il lavoro qui presentato:

- Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast), Off. J. Eur. Union (2010);
- Guidelines accompanying Commission Delegated Regulation (EU) n. 244/2012 of 16 January 2012 supplementing Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council, Off. J. Eur. Union (2012) on the energy performance of buildings by establishing a comparative methodology framework for calculating cost-optimal levels of minimum energy performance requirements for buildings and building elements;
- Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC e 2006/32/EC;
- Standard ISO 15686:2008, Buildings and constructed assets – Service-life planning, particularly Part 5: Life Cycle Costing, prepared by Technical Committee ISO/TC 59, Building construction, Subcommittee SC 14, Design life;
- Standard EN 15643-4: 2011, Sustainability of construction works - Assessment of buildings - Part 4: Framework for the assessment of economic performance;
- Standard EN 16627:2015 - Sustainability of construction

works. Assessment of economic performance of buildings  
- Calculation methods;

- Standard EN 15459:2007 - Energy performance of buildings  
- Economic evaluation procedure for energy systems in buildings.

## 3. CONTESTO DI SPERIMENTAZIONE

Il progetto “Concerto AL Piano” discende da un’iniziativa promossa dalla Commissione Europea. Il titolo “Concerto” è stato scelto in linea con l’idea che i programmi proposti prevedessero la partecipazione di numerosi attori sociali per perseguire obiettivi ambiziosi all’interno di processi di trasformazione urbana. Il programma europeo, che coinvolge 58 comunità in 22 progetti esemplari, ha lo scopo di affrontare, a scala di quartiere urbano, le problematiche legate al concetto di sostenibilità in relazione allo sfruttamento delle risorse energetiche rinnovabili, posto l’obiettivo di massimizzare l’efficienza energetica a scala di edificio e di quartiere.

Ogni progetto Concerto affronta la complessità intrinseca ai processi di trasformazione e rigenerazione urbana, grazie alla messa a regia di molteplici competenze appartenenti al mondo della Pubblica Amministrazione, degli investitori privati e della ricerca. L’esperienza di Concerto AL Piano ha rappresentato l’occasione per sperimentare le “tattiche” applicabili per raggiungere l’obiettivo della sostenibilità energetica a scala urbana: l’approccio integrato alla progettazione urbana trova il suo maggiore significato nella possibilità di essere ampliato e replicato in modo strategico nelle città. La generazione dei progetti Concerto ha prodotto, in seno ai direttorati tecnici della Comunità Europea, l’esperienza necessaria per passare dalla scala del quartiere alla scala della città, facendo tesoro delle *Lessons Learnt* e lanciando il nuovo programma di sperimentazione denominato “Smart Cities” [Mosannenzadeh *et al.*, 2017].

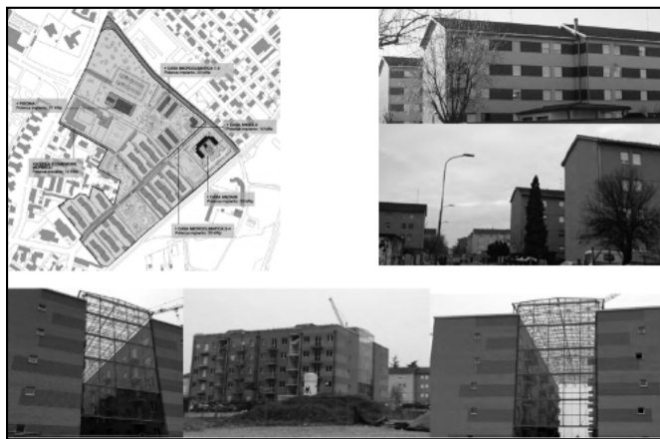
La città di Alessandria, partecipando al progetto “Concerto”, ha avuto la possibilità di comprendere l’importanza della pianificazione strategica dell’uso delle risorse energetiche a scala urbana, alimentando nuove partnership tra soggetti pubblici e privati e un più esteso know-how supportato dal confronto con altre realtà europee e contesti di ricerca. L’esperienza, infatti, è stata il punto di partenza di un percorso che ha portato poi all’adesione al Patto dei Sindaci. Quest’ultimo, come noto, consiste in un’iniziativa della Comunità Europea che coinvolge le città nello sviluppo di Strategic Energy Action Plans, piani urbani di gestione dell’energia, posto l’obiettivo di raggiungere la diminuzione del 20% delle emissioni di CO<sub>2</sub> entro il 2020.

L’area del progetto “Concerto AL Piano”, già interessata da un programma di interventi previsti dal Contratto di Quartiere II, è esemplare quale porzione con grandi vuoti urbani e con rilevanti problemi di integrazione sociale, degrado urbano ed edilizio, mancanza di servizi. L’area in oggetto è uno dei tanti vuoti presenti nella periferia urbana, un interstizio tra lottizzazioni di edilizia sociale, costruiti senza alcuna integrazione con l’esistente. Da una rapida lettura

del territorio emergono le cesure che compromettono il tessuto urbano, i vuoti che ne caratterizzano la discontinuità e le antiche matrici territoriali (dalle cascine alle fortificazioni urbane) ancora visibili, ma negate dalle lottizzazioni del secondo dopoguerra.

Il progetto propone soluzioni in grado di ovviare alle problematiche dei contesti urbani frammentati e degradati con una corretta riqualificazione dell'esistente, promuovendo una più ampia mixité sociale, edificando nuove residenze e servizi attraverso la dotazione di infrastrutture per lo sfruttamento delle fonti energetiche rinnovabili, rigenerando il tessuto urbano.

Infine, il progetto europeo "Concerto" ha permesso alle istituzioni locali di rendere più ambizioso il progetto di rigenerazione urbana, grazie alla possibilità di avvalersi delle esperienze e delle competenze dei partners europei coinvolti e agli ulteriori incentivi per la sostenibilità energetica a scala di quartiere e di edificio, basata sullo sfruttamento di fonti rinnovabili.



**Figura 1** - Area di progetto "Concerto AL Piano". Renew: edifici di edilizia residenziale pubblica ante e post retrofit. New: case microclimatiche

Più precisamente, il progetto prevede un approccio integrato alla progettazione, condiviso da tutti gli stakeholders (comune, professionisti, istituzioni, abitanti, imprese), con interventi sia a scala di edificio, implementandone le dotazioni di involucro e di impianto termico, sia a scala di quartiere, attraverso la realizzazione di un nuovo "District Heating" alimentato da una centrale di cogenerazione a metano. Tale scelta progettuale discende dalla volontà propria dei progetti del programma Concerto: verificare la convenienza economica ed energetica della generazione distribuita dell'energia, con centrali locali di cogenerazione di quartiere alimentate da fonti rinnovabili. Le sperimentazioni dell'ultimo decennio suggeriscono infatti che la generazione diffusa possa determinare vantaggi sia in termini economici sia in termini di efficienza globale del sistema energetico urbano [Manfren *et al.*, 2011; Martin-Martinez *et al.*, 2017].

Nelle simulazioni energetiche sviluppate nell'ambito del progetto sono state individuate soluzioni che, pur condividendo i principi di una progettazione a più scale, fossero capaci di massimizzare configurazioni tecnologiche fra loro alternative. Il range di soluzioni, a scala territoriale, presenta performance energetiche che variano dalla classe F alla classe A4, secondo la classificazione presentata nel D.M 26/06/2015 sui requisiti minimi energetici degli edifici.

A livello strategico è stato sviluppato un programma di rigenerazione urbana che può essere riassunto in quattro punti fondamentali:

- progettazione partecipata per l'individuazione di obiettivi condivisi e la comunicazione dei risultati raggiunti;
- progettazione con metodiche di analisi della sostenibilità energetico-ambientale, al fine di controllare e simulare i risultati delle scelte progettuali;
- ricorso a sistemi tecnologici integrati e tipologie architettoniche efficienti e non comuni, per garantire elevate performances in ambito di sostenibilità energetica e di comfort abitativo;
- verifica e monitoraggio dei risultati per validare i metodi da replicare in altre parti della città e per eventualmente intervenire in caso di necessità di implementazione dei risultati.

A livello tattico il progetto prevede, invece, di attuare tre linee d'intervento:

- New-costruzione di nuovi eco-building residenziali e di una rete di tele-riscaldamento di quartiere, alimentata da una centrale a cogenerazione per un totale di 104 alloggi;
- Re-New – riqualificazione di un complesso edilizio residenziale sociale con 300 abitazioni di proprietà dell'Agenzia Territoriale per la Casa della Provincia di Alessandria (ATC);
- New Social Elderly – realizzazione di una nuova casa anziani da parte dell'ATC di Alessandria, per ospitare una comunità di anziani in un edificio residenziale a basso consumo energetico;
- Retrofit – promozione di interventi di riqualificazione energetica di una vasta area urbana di Alessandria, allo scopo di diffondere la cultura della sostenibilità, reperire informazioni diffuse sulla qualità edilizia e le dotazioni tecnologiche del tessuto urbano, sviluppare una strategia di intervento a macro scala in base al modello energetico costruito sulla base dei feed-back ricevuti dall'azione di riqualificazione.

#### 4. FRAMEWORK METODOLOGICO

Il corpo dello studio fonda su un'analisi a due fasi: 1) analisi dei consumi energetici attesi; 2) analisi economica. Più precisamente, i risultati della fase 1) confluiscono, quali dati di input, nella fase 2).

A conclusione della fase 2) si evincono le soluzioni finali, in

termini di soluzioni preferibili dal punto di vista energetico-economico.

La fase 1) - valutazione dei consumi energetici attesi, è a sua volta articolata nei seguenti passaggi:

- individuazione di soluzioni energetico- efficienti per il miglioramento della performance energetica dell'involucro degli edifici e del sistema edificio-impianto, attraverso il miglioramento dei componenti di involucro, l'allacciamento alla rete di teleriscaldamento di quartiere e la dotazione di impianti per la produzione di energia da fonti rinnovabili;
- definizione di differenti scenari sulla base di combinazioni di soluzioni tecnologiche alternative tra loro;
- calcolo dei consumi di energia primaria per ciascuno scenario, a seguito del calcolo dei fabbisogni per la climatizzazione invernale, per la produzione di acqua calda sanitaria e per l'energia elettrica ad uso domestico;
- confronto degli scenari tecnologici in relazione ai relativi consumi energetici attesi.

La fase 2) - valutazione economica, è a sua volta articolata nei seguenti passaggi:

- calcolo del Life Cycle Cost per ciascuno scenario, in termini di Global Cost, quindi con riferimento all'intero ciclo di vita degli edifici e recependo i risultati dell'analisi dei consumi energetici attesi;
- calcolo degli indici di performance economica attraverso l'approccio Life Cycle Cost Analysis;
- comparazione degli indicatori economici degli scenari alternativi rispetto allo "scenario base";
- individuazione di variabili critiche e sviluppo della Sensitivity Analysis (deterministica);
- individuazione della soluzione preferibile dal punto di vista sia energetico sia economico.

Di seguito sono richiamati alcuni aspetti metodologici di dettaglio.

## 4.1 Analisi dei consumi energetici attesi: aspetti metodologici

La metodologia adottata per l'analisi dei consumi energetici effettivi degli edifici esistenti e per l'analisi dei consumi energetici previsti degli edifici di nuova costruzione può essere sintetizzata nei seguenti punti:

- i consumi di energia primaria degli edifici esistenti, sia antecedenti sia susseguenti agli interventi di retrofit, sono quantificati sulla base dei consumi di energia elettrica e termica desunti dalle bollette fornite dall'ATC di Alessandria, per il periodo 2006-2012;
- i consumi di energia primaria degli edifici di nuova costruzione (Nuovo Eco Villaggio e Nuova casa anziani) sono calcolati tramite simulazioni prodotte mediante il software TERMUS (prodotto e distribuito da ACCA software S.p.A.), in conformità con la norma UNI EN ISO 11300 - parte 1;
- i consumi attesi relativi agli impianti di produzione di

energia elettrica e termica da fonti rinnovabili sono calcolati mediante il software TERMUS e conformemente alla normativa UNI EN ISO 11300 - parti 4 e 5;

- il computo della produzione di energia da impianto di cogenerazione e distribuzione dell'energia termica ed elettrica è svolto sulla base delle simulazioni effettuate dalla compagnia responsabile del progetto della rete di teleriscaldamento nella versione del 2011, concidente con un rendimento di primo principio del 86.5%, di cui il 39.6% del totale è dedicato alla produzione di energia elettrica (opera non realizzata e sostituita in base al progetto prodotto da un'altra società di fornitura di servizi energetici);
- il calcolo dell'apporto di energia primaria dovuto alla presenza di serre solari è effettuato tramite il software TERMUS, in conformità con la norma UNI EN ISO 11300 - parte 1;
- l'analisi dell'energia termica risparmiata a seguito dello sfruttamento della tecnologia ad Atrio solare è simulato considerando, in fase di bilancio energetico degli edifici, i muri rivolti verso l'atrio microclimatico e rivolti verso vani non riscaldati ai sensi della norma UNI EN ISO 11300 - parte 1;
- il valore adottato per le perdite di calore dovute a dispersioni della rete di teleriscaldamento di quartiere è pari al 10%, in relazione alle indicazioni fornite dal rapporto "Indagine conoscitiva sul settore del teleriscaldamento (IC 46)";
- il valore adottato per le dispersioni dovute alla distribuzione e al trasporto dell'energia elettrica prodotta dal cogeneratore coincide con quella delle piccole reti di distribuzione: 2,2 % (Fonte Autorità Energia Elettrica e Gas);
- nel caso di prelievo di energia elettrica direttamente dalla rete nazionale è stato considerato un rendimento pari a 0,413, in considerazione dell'ammontare delle inefficienze di generazione, distribuzione e trasporto;
- i dati di input relativi alla conducibilità termica, alla permeabilità al vapore e alla densità dei materiali d'involucro sono attinti dalle schede tecniche dei materiali adottati negli interventi edilizi, mentre per i muri esistenti sono ipotizzati in relazione alla banca dati del software TERMUS, conformemente alla UNI EN ISO 1600 - parte 1.

## 4.2 Analisi economica: aspetti metodologici

Dal punto di vista economico si propone l'applicazione dell'approccio LCCA, il cui fondamento metodologico è rintracciabile, si è detto, nello Standard ISO 15686-5:2008 - Buildings and constructed assets - Service-life planning (documento predisposto dal Technical Committee ISO/TC 59, Building construction, Subcommittee SC 14, Design life). In particolare si assume la metodologia illustrata in Part 5 - Life Cycle Costing.

Com'è noto, l'approccio è utilizzato per quantificare e comparare proposte progettuali alternative, in termini di costi

e di potenziali risparmi, considerati questi rispetto all'intero ciclo di vita e rispetto a categorie di costo rilevanti (Flanagan, 1983; Schmidt, 2003; Fregonara *et al.*, 2017 a,b). Solitamente, nei progetti di intervento immobiliari attraverso l'approccio LCCA si comparano, sulla base di criteri di efficienza ed efficacia, diverse soluzioni tecnologiche che possono essere riferite a singole componenti, singoli materiali, sistemi o interi edifici. Risulta poi utile ricordare che l'approccio è adatto a trattare sia interventi di nuova costruzione sia interventi di adeguamento energetico/retrofit di edifici esistenti, incluso il caso del patrimonio storico. SCOPO generale del metodo è infatti la comparazione di diverse soluzioni tecnologiche sulla base dei relativi costi nel ciclo di vita, o definire graduatorie di preferibilità fra progetti fra loro alternativi.

Nella letteratura recente si rintracciano applicazioni che considerano sistemi alla scala di edificio (per esempio sistemi di illuminazione, riscaldamento-raffrescamento, produzione di acqua calda sanitaria), focalizzandosi sulla quantificazione di costi di breve o lungo termine e di benefici potenzialmente prodotti (solitamente nella forma di risparmi, o "costi negativi").

I risultati sono usualmente espressi attraverso il calcolo di indicatori quantitativi quali: Net Present Value (NPV), Net Present Cost (NPC), Net Savings (NS), Simple/Discounted Pay Back Period (SPB/DPB), Savings to Investment Ratio (SIR), Adjusted Internal Rate of Return (AIRR). Essenziale per il calcolo è disporre preventivamente di dati di input sui costi rilevanti, sui profili di costo di ogni opzione, di dati finanziari (Langdon, 2007; König *et al.*, 2010).

Il cuore del metodo LCCA è il calcolo del Global Cost nei termini definiti nello Standard EN 15459:2007, poi specificati nelle relative Guidelines e nel Commission Delegated Regulation (EU) N. 244/2012, emanate a seguito della Direttiva 2010/31/EU – EPBD recast. Come noto, il calcolo del Global Cost rimanda a due possibili approcci: il metodo del costo globale e il metodo delle annualità. Il primo è qui proposto per analogia con i metodi consolidati per la valutazione della fattibilità economica dei progetti (in particolare con l'approccio Discounted Cash-flow Analysis che, come l'approccio LCCA, presenta un'impostazione di calcolo basata su flussi di cassa attualizzati).

Formalmente, come ripreso in recenti studi (Corrado *et al.*, 2014; Becchio *et al.*, 2015) il Global Cost prevede la somma dei costi di investimento iniziali (non attualizzati), cui si aggiunge la somma dei costi annuali sostenuti durante l'esercizio del bene, nell'arco temporale di riferimento (vita utile), dedotti i valori residui finali, tutti attualizzati. I valori residui finali possono essere presenti qualora i sistemi/componenti presentino una vita utile più lunga della vita utile dell'intero edificio. Formalmente, il modello generalizzato risulta come segue [EN 15459:2007]:

$$C_G(\tau) = C_i + \sum_j \left[ \sum_{i=1}^{\tau} (C_{a,i}(j) \cdot R_d(i)) - V_{f,\tau}(j) \right]$$

dove:  $C_G(\tau)$  = costo globale (riferito all'anno iniziale  $\tau_0$ );  $C_i$

= costi di investimento iniziali;  $C_{a,i}(j)$  = costo annuale all'anno  $i$  del componente  $j$ , il quale include i costi operativi annuali (costi per l'energia, costi operativi, costi di manutenzione) e i costi per la sostituzione periodica;  $R_d(i)$  = fattore di sconto durante l'anno  $i$ ;  $V_{f,\tau}(j)$  = valore residuo del componente  $j$  alla fine del periodo di calcolo, riferito all'anno iniziale. I costi debbono essere opportunamente attualizzati, essendo riferiti all'intero periodo di calcolo; formalmente, il fattore di sconto  $R_d$  si presenta come:

$$R_d(p) = \left( \frac{1}{1 + \frac{r}{100}} \right)^p$$

dove:  $p$  è il numero di anni e  $r$  rappresenta il saggio di sconto reale, definito con riferimento al contesto territoriale in cui si colloca l'analisi.

In sintesi, il calcolo del Global Cost proposto in questo studio si basa sulle seguenti assunzioni:

- per condurre il calcolo si adotta il "metodo del costo globale" (alternativo al metodo delle annualità);
- i costi di investimento iniziali sono relativi agli interventi di nuova edificazione/retrofit prefigurati secondo diversi scenari tecnologici. In particolare, per gli edifici esistenti si considerano i costi di retrofit energetico attraverso impianti termici e misure di implementazione tecnologica di involucro, mentre per gli edifici nuovi si considerano i costi di costruzione;
- fra i costi rilevanti si considerano i costi operativi e i costi di manutenzione;
- il (eventuale) valore residuo dei beni/sistemi/componenti/materiali e i costi di fine vita/smaltimento non sono considerati.

Formalmente, il calcolo del costo globale – qui semplificato rispetto al modello generalizzato e, inoltre, non considerando l'eventuale valore residuo di beni/sistemi/componenti/materiali e i costi di fine vita/smaltimento – si incarna sulla seguente equazione:

$$LCC = C_i + \sum_{t=0}^N \frac{C_o + C_m}{(1+r)^t}$$

dove:  $LCC$  rappresenta il costo nel ciclo di vita;  $C_i$  rappresenta i costi di investimento iniziali;  $C_o$  rappresenta i costi operativi ed energetici (o di gestione);  $C_m$  rappresenta i costi di manutenzione,  $t$  l'anno in cui i costi si presentano e  $N$  il numero di anni inclusi nell'intero arco temporale considerato per l'applicazione;  $r$  rappresenta il saggio di attualizzazione.

Si precisa che i dati di input relativi alle voci di costo rilevanti sono solitamente dedotti da analisi di mercato, per comparazione con interventi simili, oppure da banche dati precostituite, o ancora da indagini presso fonti fiduciarie (operatori del settore). La scelta dell'orizzonte temporale di riferimento per il calcolo – passaggio questo molto delicato –

è operata sulla base della vita stimata dell'edificio e delle sue componenti tecnologiche. Alcune indicazioni sui periodi di vita, anche di sistemi e componenti, sono deducibili dalle linee guida fornite nel documento Commission Delegated Regulation (EU) N. 244/2012, nonché dal European Standard EN 15459:2007 (Annex A).

A partire da queste assunzioni di metodo è posto l'obiettivo di individuare la graduatoria di preferibilità di un set di scenari, definiti in precedenza in funzione di diverse soluzioni tecnologiche, o Energy Efficiency Measures (EEMs), sviluppando l'analisi economica illustrata in sezione 4.

## 5. ANALISI DEI CONSUMI ENERGETICI ATTESI E ANALISI ECONOMICA

Come detto, per l'applicazione dell'analisi LCC è necessario disporre di dati sulla performance energetica degli edifici in relazione a scenari alternativi (EEMs), presupposto che ogni tecnologia inclusa nelle soluzioni progettuali implica differenti costi e differenti livelli di performance; tra questi scenari si dovrà selezionare la soluzione preferibile, o la relativa graduatoria di preferibilità, in termini economici ed energetici.

### 5.1 Analisi dei consumi energetici: applicazione

L'analisi dei consumi energetici attesi è prodotta a partire dalla prefigurazione di 6 scenari ottenuti distinguendo, per ciascuno, la porzione di nuova costruzione/retrofit e individuando le relative EEMs. Queste ultime sono declinate sulla base di differenti approcci di implementazione tecnologica a scala di edificio e a scala di quartiere: sistema involucro, sistema impianti, dotazione infrastrutturale ed energetica a servizio dell'area urbana oggetto di studio. Nell'analisi condotta non è considerato l'intervento New Social Elderly, in quanto non si dispone di tutti i dati relativi ai costi sostenuti per la realizzazione dell'edificio. Quindi, il costo riferito alla realizzazione dell'impianto di cogenerazione e della rete di teleriscaldamento è stato parametrizzato in funzione delle superfici realmente utilizzate nell'analisi degli scenari oggetto di indagine.

Le simulazioni sui consumi attesi dei 6 scenari sono effettuate rispetto ai requisiti di performance prescritti dalle normative di riferimento (D.G.R. 43-46/2009, D.M. 26/06/2015, prescrizioni al 2021), rispetto allo stato di fatto e alle indicazioni di progetto.

I differenti scenari si differenziano, per comparazione, rispetto all'intervento concretamente realizzato nel progetto "Concerto AL Piano" (nominato Scenario 3), secondo le seguenti strategie tecnologiche d'involucro e d'impianto:

- lo stato di fatto precedente agli interventi di retrofit completato con la valutazione previsionale dei consumi energetici del Nuovo Eco-Villaggio, come se fosse stato edificato secondo i limiti imposti dalla normativa regionale del 2009 (D.G.R. 43 e 46 del 2009) (Scenario 1);

- il progetto "Concerto AL Piano", ripensato nella condizione in cui gli edifici abbiano valori di trasmittanze termiche d'involucro coerenti con il quadro normativo di riferimento del 2009 e per i quali l'energia termica ed elettrica sia fornita dalla centrale a cogenerazione di quartiere, integrata da quella autoprodotta sugli edifici di nuova edificazione che copre rispettivamente il 60% del fabbisogno atteso di energia per l'acqua calda sanitaria e il 31% del fabbisogno di energia elettrica (Scenario 2);
- il progetto "Concerto AL Piano", modificato in modo che gli edifici abbiano valori di trasmittanza di involucro in linea con i limiti fissati al 2021 (D.M. 26/06/2015), e che il fabbisogno di energia sia soddisfatto solamente grazie a tecnologie solari posizionate su superfici pubbliche e private del quartiere (eliminando qualsiasi strategia di integrazione e ottimizzazione delle tecnologie energetiche a scala territoriale), supportate da caldaia a condensazione (per il picco di domanda e come back-up), sistema di accumulo e centralina di controllo e gestione (Scenario 4);
- il progetto in tutto simile allo Scenario 4 escluse le dotazioni tecnologiche d'involucro, in questo caso identiche a quelle concretamente realizzate in "Concerto AL Piano" (Scenario 5);
- la configurazione progettuale "limite", che massimizza l'utilizzo di fotovoltaico a scala di edificio, accoppiato ad un impianto termico con pompe di calore del tipo aria-acqua e che prevede edifici con tecnologie d'involucro uguali a quelle realmente realizzate nel progetto europeo (Scenario 6).

Gli scenari alternativi sono quindi comparati con lo Scenario 3, assunto come *base-case*.

Gli scenari 4, 5 e 6 sono caratterizzati dalla massimizzazione delle tecnologie solari, le quali richiedono una superficie di captazione molto estesa. La scelta di adottare tali scenari è effettuata al fine di verificare quanto sia economicamente preferibile l'adozione di una tecnologia, i cui costi sono in larga parte sostenuti da forme di finanziamento statale che ricadono direttamente sulla proprietà dell'immobile (il 65% del costo dell'investimento può essere dedotto fiscalmente in rate annuali di 10 anni secondo la Legge 27/12/2017, n. 205). La massimizzazione della superficie di captazione richiede certamente una quantità molto estesa di superficie di captazione ben esposta, che nel caso dello Scenario 6 consiste in 6650 m<sup>2</sup> di pannelli fotovoltaici.

Consapevoli della difficoltà che l'applicazione di tale misura energetica comporta, in particolare in un'area urbana seppure dotata di ampi spazi verdi, si è scelto di operare in tal senso al fine di rappresentare un "caso limite" di approccio sistemico alla progettazione energetico-ambientale a scala di quartiere. Si deve notare che, realisticamente, sarebbe necessario stipulare preventivamente accordi specifici con le istituzioni pubbliche al fine di collocare pensiline e tettoie negli spazi verdi che fungano da supporto alla generazione di energia privata: i soggetti privati, con la donazione di una quota delle detrazioni fiscali, pagherebbero l'occupazione delle superfici esposte delle pensiline pur mantenendo il vantaggio di una generazione di energia da



[ fonte rinnovabile comunque economicamente conveniente. Il governo locale riuscirebbe invece a sovvenzionare, almeno in parte, la realizzazione di piccole infrastrutture urbane (pensiline, tettoie, piccoli edifici per la gestione e manutenzione degli spazi pubblici) in virtù della cessione delle superfici coperte con la migliore esposizione solare.

Attraverso il programma per certificazioni energetiche TER-MUS sono individuati i dati di consumo corrispondenti ai 6 differenti scenari di intervento.

Come si evince dalla Figura 2, il livello di consumo di energia primaria diminuisce progressivamente via via che si integrano soluzioni tecnologiche a scala di edificio con misure di produzione di energia a scala di quartiere. Soprattutto per le fonti rinnovabili, la necessità di spazio utile, soleggiato e non ombreggiato, non è sempre disponibile sulle coperture e sulle facciate degli edifici: la possibilità di ricorrere a superfici comuni, che implementino la produzione, risulta essere la più conveniente dal punto di vista energetico.

Coerentemente, le diverse prestazioni degli scenari analizzati corrispondono a differenti Classi Energetiche, come si evince dalla Figura 2.

Confrontando i risultati della simulazione dei consumi di energia primaria per la climatizzazione invernale, per la produzione di acqua calda sanitaria e per la produzione di energia elettrica ad uso domestico si evince che:

- il confronto tra i consumi dell'area di progetto prima e dopo il progetto "Concerto Al Piano" (Scenario 1 vs. Scenario 3) evidenziano come le misure tecnologiche scelte siano efficaci soprattutto per l'intervento di retrofit del complesso residenziale ATC, per il quale si ottiene una riduzione dei consumi del 60% circa che determina il raggiungimento della classe energetica D, mentre per il Nuovo Eco Villaggio la differenza ridotta delle soluzioni di involucro e il passaggio da una caldaia standard (norma 2009) alla rete di teleriscaldamento determina poco più che il salto di una classe energetica (riduzione del 13% dei consumi di energia primaria attesi);
- il confronto tra Scenario 2 e Scenario 3 evidenzia come per le nuove costruzioni le soluzioni di Concerto AL Piano forniscono risultati migliori del 5% rispetto alle prescrizioni a termini di legge per il 2021, in virtù delle migliori dotazioni tecnologiche d'involucro, mentre per il retrofit gli interventi di isolamento e di sostituzione dei serramenti nello Scenario 2 determinano una riduzione dei consumi attesi di energia primaria del 36%;
- il confronto tra gli Scenari 4 e 5 dimostra come, a parità di dotazioni di impianto, ovviamente il progetto che ricorre a misure di contenimento delle dispersioni più efficienti ottiene un migliore risultato; tale confronto evidenzia anche che, come riportato largamente nella letteratura scientifica [Mancarella, 2014] l'intervento più efficace è caratterizzato dall'implementazione integrata, in grado di coinvolgere l'intero sistema edificio-impianto (e non, solamente, uno dei due);

- poiché il metodo di classificazione energetica degli edifici non tiene conto dei consumi di energia primaria soddisfatti da fonte rinnovabile, lo Scenario 5, che prevede tecnologie d'involucro uguali, ma che massimizza il ricorso a fonti di energia solare al posto di fonti di cogenerazione a gas, ancorché ad alta efficienza, risulta preferibile rispetto allo Scenario 3 sia per i nuovi interventi (riduzione del 42% del consumo di energia primaria attesa) sia per gli interventi di riqualificazione (riduzione del 59% dei consumi attesi);
- il confronto tra i tre scenari che utilizzano solamente energia solare vede lo Scenario 6 come il più energeticamente sostenibile, in quanto, per la parte di energia termica, sfrutta in modo più efficiente l'energia elettrica da fotovoltaico, prodotta grazie all'accoppiamento con pompa di calore aria-acqua ad alta efficienza (Coefficient of Performance > 4).

La valutazione del bilancio energetico del *district* oggetto di intervento evidenzia come a scala di settore urbano sia importante sviluppare progetti che cerchino di assicurare contemporaneamente le tre seguenti condizioni:

1. la valutazione integrata dell'intero sistema edificio-impianto e non solamente dell'involucro o degli impianti termici o elettrici;
2. la massimizzazione dell'uso di fonti rinnovabili;
3. la generazione diffusa di energia integrando i sistemi produttivi a scala di edificio con quelli a scala di quartiere, attraverso lo sfruttamento, concordato con le istituzioni locali, di arredi e dotazioni comuni per la generazione diffusa dell'energia (quali ad esempio coperture di pensiline esposte a sud).






La realizzazione di infrastrutture diffuse (sistemi solari per la produzione di energia) o concentrate (centrali di cogenerazione con rete di teleriscaldamento) a servizio del quartiere determina, inoltre, la possibilità di ridurre i costi marginali di spesa per l'energia. Al proposito, si può ipotizzare che se la comunità si organizzasse in forma di "unico utente" per la fornitura di energia relativa all'area urbana di trasformazione (ad esempio in qualità di associazione locale di consumatori), potrebbe certamente riscontrare una migliore capacità contrattuale nei confronti dei fornitori di servizi energetici, traendone maggiori vantaggi economici.

## 5.2 Analisi economica: applicazione

Obiettivo dell'analisi economica è confrontare gli scenari tecnologici alternativi, prima descritti, al fine di supportare la definizione di strategie di progettazione tecnologica a scala di quartiere, assumendo due condizioni in premessa:

1. garantire la confrontabilità tra tutti gli scenari mantenendo le caratteristiche del progetto realizzato "Concerto AL Piano", maturate all'interno di un contesto unico;
2. aggiornare i costi di costruzione, di impianto e di gestio-

Tabella 1 - Scenari di intervento

PRODUZIONE DI SIMULAZIONI E ANALISI DEI RISULTATI: SCENARI DI INTERVENTO																																	
FONTE ENERGETICA		INTERAGRAZIONE TECNOLOGICA A SCALA DI QUARTIERE	RIFERIMENTO TRASMITTANZE INVOLUCRO	CALDAIA A BASSA EFFICIENZA ( $\eta_g = 0,65$ )	 (U - W/mqK)				 (U - W/mqK)	CALDAIA A CONDENSAZIONE ( $\eta_g = 0,85$ )	POMPE DI CALORE PER RISCALDAMENTO E ACS	CALDAIA STANDARD ( $\eta_g = 0,78$ )	 SISTEMA COGENERAZIONE	SISTEMA ELETTRICO NAZIONALE	 IMPIANTO SOLARE TERMICO	 IMPIANTO FOTOVOLTAICO																	
					GAS METANO												GAS METANO	ENERGIA SOLARE DA PV	GAS METANO	GAS METANO	FONTE MISTA (mix energetico nazionale)	ENERGIA SOLARE	ENERGIA SOLARE										
- SCENARIO NEW 1	RE-NEW	NO	D.G.R. 43-46 DEL 2009 STATO DI FATTO (2009)	100% Fab. riscaldamento e ACS	0,30 (1,00)	0,33 (0,92)	0,33 (1,50)	2,00	100% Fab. riscaldamento e 40% Fab. ACS	----	----	60% Fab. ACS	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
- SCENARIO NEW 2	RE-NEW	SI Cogenerazione di quartiere più tecnologia solari	(D.M. 26/06/2015) PRESCRIZIONE AL 2021	----	0,26	0,26	0,22	1,40	----	----	----	----	restanti quote Fab. E. E. riscaldamento e ACS	----	----	60% Fab. ACS	31% Fab. E. E.																
- SCENARIO NEW 3	RE-NEW	SI Cogenerazione di quartiere più tecnologia solari	CONCERTO AL PIANO	----	0,22	0,21	0,20	1,60	----	----	----	----	restanti quote Fab. E. E. riscaldamento e ACS	----	----	60% Fab. ACS	31% Fab. E. E.																
- SCENARIO NEW 4	RE-NEW	SI Tecnologie solari su superfici comuni di quartiere	(D.M. 26/06/2015) PRESCRIZIONE AL 2021	----	0,26	0,26	0,22	1,40	Per picchi di domanda e di back - up	----	----	----	----	----	----	100% Fab. ACS e riscaldamento	100% Fab. E. E. e riscaldamento																
- SCENARIO NEW 5	RE-NEW	SI Tecnologie solari su superfici comuni di quartiere	CONCERTO AL PIANO	----	0,22	0,21	0,20	1,60	Per picchi di domanda e di back - up	----	----	----	----	----	----	100% Fab. ACS e riscaldamento	100% Fab. E. E.																
- SCENARIO NEW 6	RE-NEW	SI Tecnologie solari su superfici comuni di quartiere	CONCERTO AL PIANO	----	0,22	0,21	0,20	1,60	----	100% Fab. ACS e riscaldamento	----	----	----	----	----	----	100% Fab. pompa di calore e E. E.																
* E. E. = Energia Elettrica uso domestico      Fab = Fabbisogno      ACS = Acqua Calda Sanitaria																																	

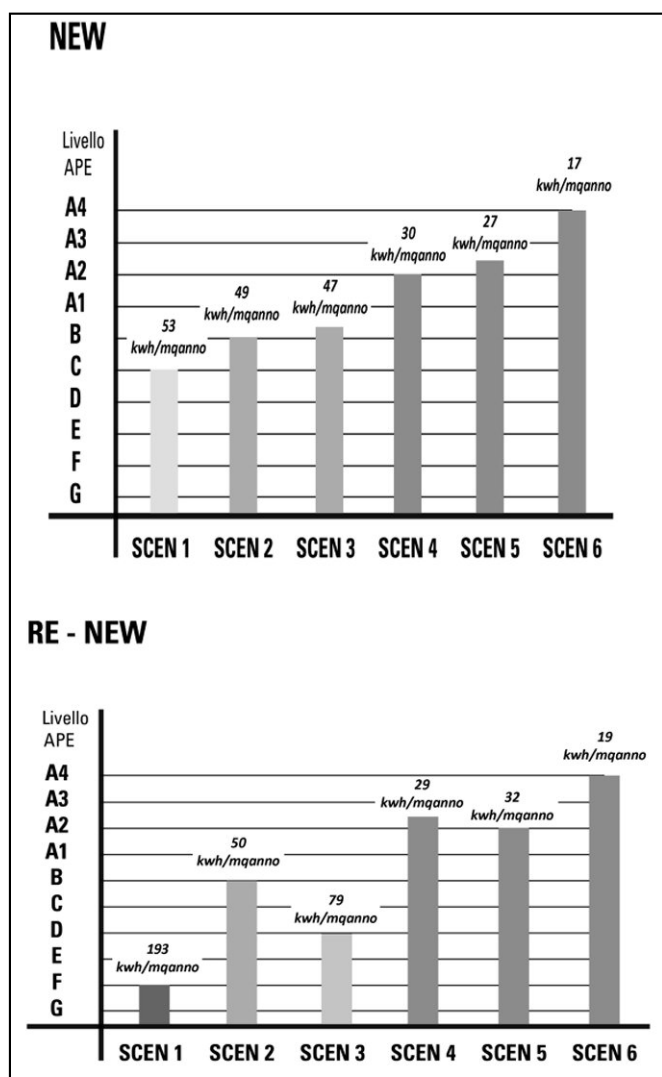


Figura 2 - Performace energetica degli Scenari di intervento

ne, allo scopo di fornire un framework progettuale più attuale possibile.

La prima condizione è garantita attraverso il mantenimento per tutti gli scenari delle stesse tipologie di intervento, modificando solo alcune dotazioni tecnologiche d'involucro o impiantistiche. Inoltre, per non alterare il contesto economico in seno al quale è stato sviluppato il progetto "Concerto AL Piano", è mantenuto per tutti gli scenari il quadro delle detrazioni fiscali e degli incentivi derivanti da norme nazionali e dai finanziamenti provenienti dall'Unione Europea. I progetti del programma europeo "Concerto", infatti, hanno previsto incentivi pari al 30% dei costi sostenuti per le misure di efficienza energetica relativi a:

- involucri di edifici esistenti o di nuova edificazione,
- impianti di generazione dell'energia da fonte rinnovabili;
- reti di teleriscaldamento alimentate da centrali a cogenerazione a scala di distretto alimentate da fonti rinnovabili (prevalentemente biomassa).

Nel caso quindi di "Concerto AL Piano", l'intervento di cogenerazione e la relativa rete di teleriscaldamento non possono essere oggetto di finanziamento europeo in quanto la centrale realizzata è alimentata a gas metano e non a biomassa.

Le altre voci di incentivo considerate nell'analisi economica sono relative alle detrazioni fiscali IRPEF (Imposta sul Reddito delle Persone Fisiche, secondo Legge 27/12/2017 n. 205) le quali, per il progetto "Concerto AL Piano", possono essere riassunte in:

- detrazioni fiscali del 65% per impianti di produzione di energia da fonte rinnovabile, sia in caso di retrofit sia in caso di nuova costruzione;
- detrazioni fiscali pari al 65% dei costi per interventi di ristrutturazione per l'efficientamento d'involucro e sosti-

tuzione degli impianti di riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria;

- detrazioni fiscali pari al 50% dei costi sostenuti per gli interventi di ristrutturazione e manutenzione ordinaria, non riconducibili a interventi di implementazione dell'efficienza energetica dell'edificio.

La seconda condizione, relativa all'aggiornamento dei costi di intervento, è garantita attraverso l'individuazione puntuale di tutti i costi di ristrutturazione e di costruzione degli edifici residenziali e degli impianti energetici del progetto come riportato in Tabella 2. I costi di costruzione e di retrofit degli edifici sono dedotti da Computi Metrici Estimativi relativi ai progetti esecutivi. I valori riportati risalgono al periodo compreso tra il 2009 e il 2013, poi aggiornati sulla base del tasso di inflazione medio del periodo 2009-2017 fatto pari all'1,13% (fonte ISTAT). Come riportato in Tabella 2, alcune voci di costo sono invece aggiornate all'ultimo biennio, in relazione a prezzi medi correnti. L'aggiornamento dei costi ha quindi interessato le seguenti voci:

- costi per i pannelli fotovoltaici, interessati da un sensibile calo soprattutto rispetto alla fornitura;
- costi per la manutenzione degli impianti;
- costi per l'impianto termico, non previsto nel progetto realizzato in "Concerto Al Piano" (pompe di calore, caldaie a condensazione, sistemi di gestione e accumulo dell'energia termica).

Il processo di aggiornamento interessa anche il costo dell'energia termica ed elettrica, il cui valore scelto per l'analisi coincide con i valori forniti da Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente - ARERA, al 2018.

Nell'analisi economica, infatti, oltre al costo di costruzione sono inclusi i costi di manutenzione ordinaria e straordinaria, nonché i costi relativi alla fornitura energetica per un arco di tempo di 20 anni, assunto quale orizzonte temporale.

Seguendo le indicazioni metodologiche della norma ISO 15686-5:2008, le voci di costo "rilevanti" e i relativi dati, riportati in Tabella 2, sono stati individuati per l'applicazione LCCA.

Operativamente, l'applicazione LCCA è svolta attraverso il calcolo del Global Cost e il calcolo degli indicatori di performance economica previsti dal modello; in particolare sono calcolati: Net Present Value – NPV, Pay-Back Period Simple/Discounted – SPB/DPB, Savings to Investment Ratio – SIR, Adjusted Internal Rate of Return – AIRR.

Per l'analisi sono assunti i seguenti dati di input finanziari:

- il saggio di sconto, assunto pari al 2,5 % definito in funzione del rischio collegato all'investimento. Il rischio è considerato piuttosto contenuto in virtù di considerazioni quali lo specifico mercato in cui l'intervento si colloca, i potenziali di risparmio generato dagli interventi di retrofit, le riduzioni fiscali, la messa in valore dei beni;
- l'orizzonte temporale dell'analisi fatto pari a 20 anni, in considerazione della durata di vita dell'elemento tecnologico di durabilità più breve, inserito nel progetto di intervento (impianto fotovoltaico/solare termico).

**Tabella 2 - Costi "rilevanti" per Scenari: costi di investimento, operativi e di gestione**

TIPO DATO	COSTO	RIFERIMENTO
FORNITURA ENERGIA ELETTRICA	0,25 €/KWh	ARERA 1° trimestre 2018 (T. monorario)
FORNITURA RISCALDAMENTO E ACS	0,11 €/KWh	ARERA 1° trimestre 2018
FORNITURA E POSA FOTOVOLTAICO	2420 €/Kwp	Energia.it (Dati riferiti ad Aprile 2017)
FORNITURA E POSA SOLARE TERMICO	1795 €/mq	Concerto AL Piano (2014)
COSTO CENTRALE COGENERAZIONE (Compresi costi per la Rete per l'intero quartiere)	2.361.972 €	Concerto AL Piano (2014)
COSTO RETE COGENERAZIONE	668 €/m	Prezzario regione Piemonte 2016
FORNITURA E POSA POMPA DI CALORE - Scambiatore di Calore 350 kw + serbatoio 470 l	9.485 €	Prezzario regione Piemonte 2016
MANUTENZIONE IMPIANTO COGENERAZIONE (Costo annuo)	8 €/Mwhanno	Confindustria.it (Dati riferiti ad Aprile 2017)
MANUTENZIONE SOLARE TERMICO (Costo annuo)	15 €/mq	Confindustria.it (Dati riferiti ad Aprile 2017)
MANUTENZIONE FOTOVOLTAICO (Costo annuo)	40 €/Kwp	Confindustria.it (Dati riferiti ad Aprile 2017)
FORNITURA E POSA ISOLAMENTO CAPPOTTO (Fibra di cellulosa)	70 €/mq	Concerto AL Piano (2014)
FORNITURA E POSA ISOLAMENTO SOTTOTETTO (EPS)	65 €/mq	Concerto AL Piano (2014)
FORNITURA E POSA ISOLAMENTO 1° PIANO FT. (EPS)	60 €/mq	Concerto AL Piano (2014)
FORNITURA E POSA SERRAMENTI (U:2 W/mq)	330 €/mq	Concerto AL Piano (2014)
FORNITURA E POSA SERRAMENTI (U:1,6 W/mq)	400 €/mq	Concerto AL Piano (2014)
<b>COSTI DI FORNITURA E POSA DEL NUOVO ECO-VILLAGGIO (NEW)</b>		
INTERVENTI DI CARATTERE GENERALE	€	Riferimento
OPERE EDILI	7.949.477	Concerto AL Piano (2014)
FORNITURA E POSA IMPIANTI	3.987.548	Concerto AL Piano (2014)
OPERE DI SISTEMAZIONE ESTERNA	274.508	Concerto AL Piano (2014)
SISTEMI PASSIVI (SPAZIO COMUNE E SERRE)	1.691.528	Concerto AL Piano (2014)
OPERE E DOTAZIONI PER PIATTAFORMA ISOLA ECOLOGICA	4.968	Concerto AL Piano (2014)
PROGETTAZIONE		5% Costo di Costruzione
incentivi considerati	%	
OPERE DI RISTRUTTURAZIONE	-	L., 27/12/2017 n° 205
SOSTITUZIONE DI IMPIANTI TERMICI (FORNITURA E POSA)	-	L., 27/12/2017 n° 205
FORNITURA E POSA DI IMPIANTI TERMICI DA FONTE RINNOVABILE	65	L., 27/12/2017 n° 205
RETROFIT CON APPLICAZIONE/ SOSTITUZIONE SISTEMI D'INVOLUCRO AD ALTA EFFICIENZA	-	L., 27/12/2017 n° 205
<b>COSTI DI FORNITURA E POSA DEL RETROFIT DEL COMPLESSO RESIDENZIALE ATC (RENEW)</b>		
INTERVENTI DI CARATTERE GENERALE	€	Riferimento
OPERE EDILI	1.066.291	Concerto AL Piano (2014)
FORNITURA E POSA IMPIANTI	386.224	Concerto AL Piano (2014)
OPERE DI SISTEMAZIONE ESTERNA	394.017	Concerto AL Piano (2014)
SISTEMI PASSIVI (SPAZIO COMUNE E SERRE)	393.719	Concerto AL Piano (2014)
OPERE E DOTAZIONI PER PIATTAFORMA ISOLA ECOLOGICA	5.880	Concerto AL Piano (2014)
PROGETTAZIONE		5% Costo di Costruzione
incentivi considerati	%	
OPERE DI RISTRUTTURAZIONE	50	L., 27/12/2017 n° 205
SOSTITUZIONE DI IMPIANTI TERMICI (FORNITURA E POSA)	50	L., 27/12/2017 n° 205
FORNITURA E POSA DI IMPIANTI TERMICI DA FONTE RINNOVABILE	65	L., 27/12/2017 n° 205
RETROFIT CON APPLICAZIONE/ SOSTITUZIONE SISTEMI D'INVOLUCRO AD ALTA EFFICIENZA	65	L., 27/12/2017 n° 205

Inoltre, si assume lo Scenario 1 come scenario base di confronto dal momento che, per lo stesso, non sono previsti interventi di retrofit sugli edifici esistenti e la sola realizzazione di edifici di nuova costruzione secondo le prescrizioni normative di cui ai D.G.R. 43 e 46 del 2009. Per tale ragione, nei commenti riportati a seguire, non si considera lo Scenario 1. Per analoghe ragioni, si assume di omettere dall'illustrazione dei risultati l'indicatore Net Savings (NS), in quanto lo stesso è calcolato quale differenza fra l'applicazione "LCC caso base" e l'applicazione "LCC caso di confronto", per ogni Scenario: se il caso base, come in questa applicazione, non prevede misure di intervento confrotabili, l'indicatore risulta non significativo.

I valori ottenuti dal calcolo degli indicatori sono sintetizzati in Tabella 3, con evidenza sulle condizioni di accettabilità per ciascun indicatore.

In Figura 3 si presentano i risultati in forma grafica incluso, per completezza, il grafico degli andamenti comparati dei SPBP calcolati.

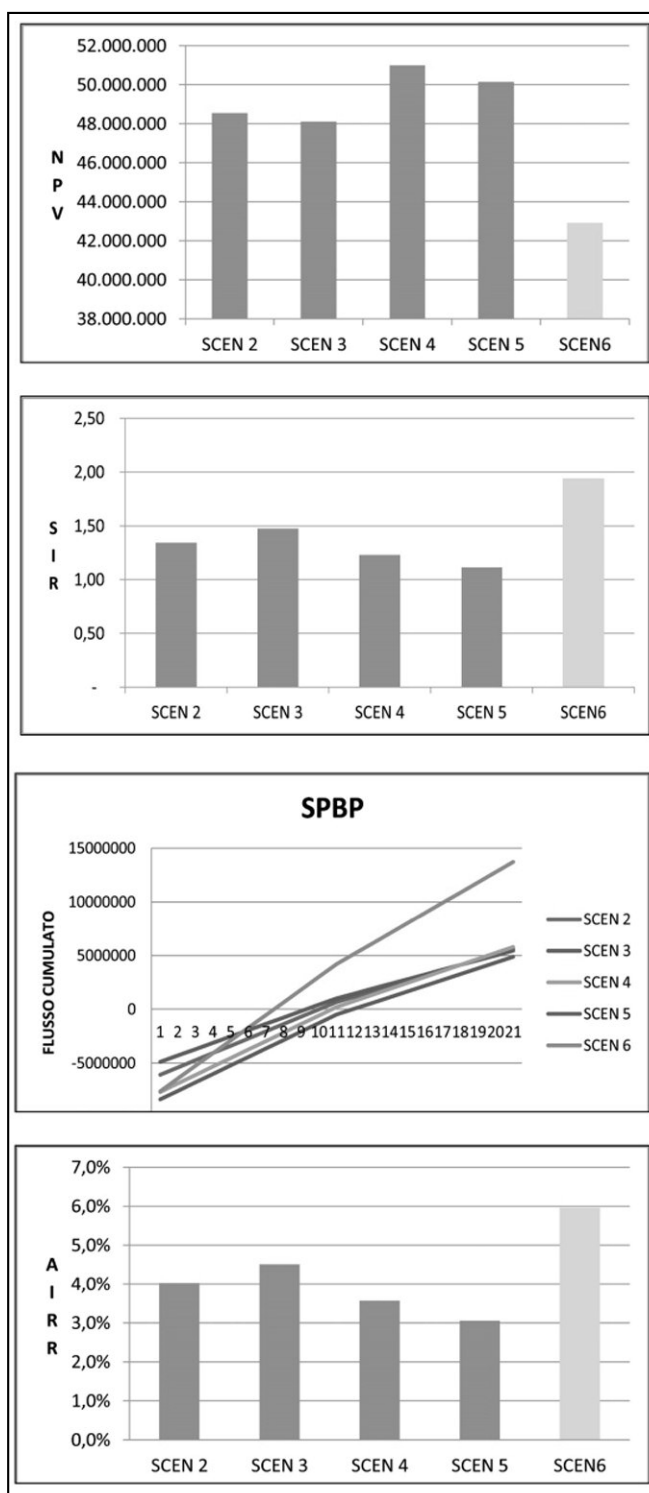
Dalla lettura della Tabella 3 e della Figura 3 risulta preferibile lo Scenario 6 che prefigura, ricordiamo, caratteristiche di involucro degli immobili simili a quelle dello Scenario 3, ma con un sistema impianto capace di soddisfare il fabbisogno energetico totalmente con pannelli solari fotovoltaici. Il valore NPV risulta infatti il più basso possibile rispetto agli Scenari di confronto assumendo un valore pari a 42899117 Euro; il rapporto risparmi/investimenti aggiuntivi (SIR) è  $> 1$ , in particolare 2.23; il valore del Tasso Interno di Investimento Aggiustato (AIRR) è superiore al saggio di attualizzazione applicato per il calcolo del NPV (2.5%), assumendo valore 6.7%. Inoltre, il periodo di tempo per il rientro del capitale investito, SPB, calcolato attraverso il flusso cumulato, risulta per comparazione il più breve (6 anni, Discounted 7 anni).

### 5.3 Analisi energetica e analisi economica: commenti ai risultati

Per concludere l'analisi è opportuno il confronto fra le performances dei differenti scenari, individuando le misure più convenienti dal punto di vista sia energetico sia economico, anche in considerazione dei margini di incertezza dovuti al carattere previsionale della valutazione.

**Tabella 3 - Sintesi dei risultati della LCC Analysis.**  
Indicatori di performance economica

	NPV (Global Cost) (Euro)	SIR	AIRR	SPB (Anno)	DPB (Anno)
Condizioni di accettabilità	più basso possibile	accettabile $> 1$ non accett. $< 1$	accettabile $> 2,5\%$ non accett. $< 2,5\%$	più basso possibile	
Scenario 2	48543323	1.63	5.0%	8	9
Scenario 3	48109799	1.76	5.4%	7	8.5
Scenario 4	51003631	1.51	4.6%	8.5	10
Scenario 5	50138844	0.40	4.2%	9	11
Scenario 6	42899117	2.23	6.7%	6	7



**Figura 3 - Indicatori di performance economica: rappresentazione grafica**

Da una lettura congiunta dei risultati, come anticipato lo Scenario 6 risulta il più conveniente, usufruendo interamente del 65% di detrazioni fiscali (di cui non usufruisce

la rete di teleriscaldamento) e, allo stesso tempo, utilizzando nel modo più efficiente solo la fonte di energia rinnovabile grazie all'accoppiamento con pompe di calore ad alta efficienza. È pur vero, però, che la superficie utile necessaria a soddisfare il fabbisogno è eccessivamente rilevante e difficilmente disponibile in un'area urbana di grande/media densità. Così come è doveroso considerare che il ricorso al solo fotovoltaico, se non associato a sistemi di *storage* dell'energia prodotta, implicherebbe o una sovrapproduzione in alcuni periodi dell'anno e del giorno (se il sistema fosse progettato per garantire il fabbisogno giornaliero anche nella stagione invernale), o la necessità di energia durante la stagione fredda, se fosse progettato solamente in base al fabbisogno annuale atteso.

È interessante ancora notare come il progetto realizzato, Scenario 3, risulta essere il più appetibile dopo il caso "limite" (Scenario 6); ciò in linea con la letteratura internazionale che vede nello sfruttamento integrato delle fonti energetiche il migliore sistema di approvvigionamento energetico a scala soprattutto di quartiere. Il ricorso a tecnologie solari e alla rete di teleriscaldamento locale, alimentata dalla centrale a cogenerazione, rappresenta lo scenario più conveniente anche in termini economici.

Se si analizzano poi i risultati comparando le prestazioni delle diverse, specifiche componenti tecnologiche utilizzate nei differenti scenari (per esempio, confrontando caratteristiche impiantistiche con prestazioni di involucro), si possono evincere diverse "graduatorie di preferibilità". Senza entrare nel merito dei singoli risultati ottenuti dall'applicazione, è interessante notare, come comportamento generale, che non sempre un intervento capace di fornire prestazioni ottimali dal punto di vista energetico risulta essere anche il preferibile in termini di contenimento del costo globale. In termini ancora più generali, i risultati dell'analisi energetica e dell'analisi economica applicate ad opzioni alternative spesso non risultano fra loro correlati.

Questo dato di complessità è oggetto, peraltro, di recenti studi orientati alla sperimentazione di modalità operative per la produzione di analisi energetico-ambientali ed economiche congiunte, che assumono, quale principio di base, la necessità di ragionare in termini di performance globale (Thiebat, 2013; Fregonara et al., 2013).

Le considerazioni sinora espresse sono supportate, infine, dalla Sensitivity Analysis deterministica, applicata a partire dalla preliminare individuazione delle variabili critiche. In specifico, sono considerate come variabili critiche i costi per la sostituzione dei serramenti, per la fornitura e posa dell'isolamento, per il cogeneratore, per l'impianto fotovoltaico, per l'impianto solare termico, infine il costo per l'energia.

I risultati dell'analisi di sensitività, espressi in forma grafica in Figura 4, evidenziano come una variazione, anche minima, del costo del pacchetto di isolamento sia in grado di perturbare gli indicatori in modo significativo, seppure senza sovvertire il risultato finale.

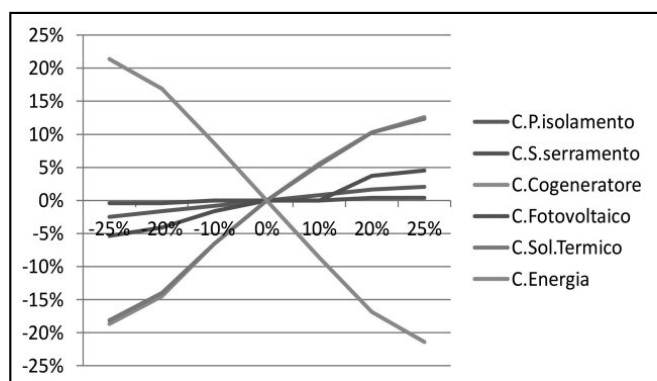


Figura 4 - Sensitivity Analysis

Le curve più ripide nello *spider graph* rappresentano, si ricorda, le variabili che più possono influenzare i risultati.

In conclusione è ancora utile rilevare, da un punto di vista squisitamente economico, che a seguito degli interventi prefigurati dai diversi scenari sono attesi impatti positivi in termini di messa in valore alla scala dell'intero district come dei beni in esso inclusi. Impatti riconducibili da un lato alla riqualificazione dell'intero sub-segmento territoriale, dall'altro, allo shift di Classe Energetica che interessa i manufatti. Anche questo conferma la crescente sensibilità del mercato immobiliare rispetto alle caratteristiche di performance energetica degli immobili, con ricadute sulla ricerca di settore. La prestazione energetica dei complessi edilizi è un elemento di qualità che si sta traducendo in valore, andando ad intressare i comportamenti dei soggetti sia pubblici sia privati, coinvolti nelle scelte di mercato e nei processi di *decision-making* (Morano et al., 2017; Bottero et al., 2017).

## 6. CONCLUSIONI

Il lavoro illustrato è stato l'occasione per sperimentare l'approccio LCCA su un contesto reale, riferito ad una scala territoriale circoscritta ma che comporta un significativo spostamento rispetto alla dimensione più solitamente trattata – il building -, con ricadute a livello di ricerca e sperimentazione. Inoltre, ha rappresentato l'occasione per sperimentare l'applicazione dell'approccio LCCA su un caso già oggetto di un precedente intervento di retrofit: un "intervento di post retrofit" inquadrato in un contesto tecnologico e di mercato diversamente maturo.

Ancora, ha permesso il confronto fra un progetto sviluppato a scala di distretto urbano, realizzato, sul principio che l'approccio più conveniente sia l'integrazione tra le tecnologie di produzione locale di energia (teleriscaldamento da cogenerazione a gas, fotovoltaico, solare termico), con un progetto in grado di massimizzare il ricorso alla tecnologia di generazione di energia da fonte solare, al contempo di semplice gestione e controllo (in particolare per lo scenario nel quale si ricorre al solo fotovoltaico).

Al di là dei risultati dell'applicazione metodologica, lo studio ha inteso stimolare la riflessione sulle potenzialità offerte passando dalla scala del singolo edificio alla scala del sub-segmento territoriale e in compresenza di più fonti energetiche, con tutte le implicazioni e complessità, a livello di sistemi e a livello valutativo, che ciò

comporta. Complessità che può portare, però, ad importanti aperture per la governance territoriale e per la definizione di politiche coerenti con gli obiettivi di contenimento energetico, con i requisiti di performance richiesti e, al contempo, sostenibili sul piano economico-finanziario.

\* **Elena Fregonara**, Dipartimento Architettura e Design, Politecnico di Torino.

e-mail: elena.fregonara@polito.it

\*\* **Corrado Carbonaro**, Dipartimento Architettura e Design, Politecnico di Torino.

e-mail: corrado.carbonaro@polito.it

\*\*\* **Omar Pasquarella**, Architetto.

e-mail: omarpasquarellaarchitetto@gmail.com

## Ringraziamenti

Si ringrazia il Professore Roberto Pagani, coordinatore del progetto Europeo "Concerto AL Piano", per la disponibilità e per il fondamentale supporto metodologico e scientifico. Un particolare ringraziamento è rivolto all'ATC di Alessandria per la preziosa sinergia sviluppatasi in seno al progetto, al Comune di Alessandria e alle imprese di costruzione, facenti parte della "Consulta", per la collaborazione sui temi tecnici e professionali, fondamentali per lo svolgimento del progetto "Concerto AL Piano".

## Bibliografia

BECCHIO C., FERRANDO D., FREGONARA E., MILANI N., QUERCIA C., SERRA V., *The cost optimal methodology for evaluating the energy retrofit of an ex-industrial building in Turin*, Energy Procedia, n. 78, 2015, pp.1039-1044.

BOTTERO M., BRAVI M., MONDINI G., TALARICO A., *Building Energy Performance and Real Estate Market Value: an Application of the Spatial Autoregressive (SAR) Model*, in Stanghellini S., Morano P., Bottero M., Oppio A., *Appraisal: From Theory to Practice*, Springer, Berlin, 2017, pp. 221-230.

BRONDINO G., CURTO R., FREGONARA E., *Mercato crisi finanziaria: aspetti interpretativi e valutativi*, Valori e Valutazioni, 6, 2011, pp. 91-99.

CAPUTO P., COSTA G., FERRARI S., *A supporting method for defining energy strategies in the building sector at urban scale*, Energy Policy 2013, 55, pp. 261-270.

CORRADO V., BALLARINI I., PADUOS S., *Assessment of cost-optimal energy performance requirements for the Italian residential building stock*, Energy Procedia, 45, 2014, pp. 443-452.

DECREE OF THE PRESIDENT OF THE ITALIAN REPUBLIC DPR 59, 2009, *Regulations for the application of the article 4, comma 1, letters a) e b), of the Legislative Decree 19 August 2005, no. 192, concerned with the application of the directive 2002/91/CE on energy efficiency of buildings (in Italian)*, Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana n. 132, June 10, 2009.

DIRECTIVE 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC e 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC e 2006/32/EC.

DM 26/2/2017, "Decreto interministeriale 26 giugno 2015 -

*Adeguamento linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici".*

EDWARDS S., BENNETT P., *Construction products and life-cycle thinking*. Industry and Environment, 2003, 26, 2, pp. 57-61.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN), *Standard EN ISO 15459:2007, Energy performance of buildings - Economic evaluation procedure for energy systems in buildings*, Brussels, 2007.

EUROPEAN PARLIAMENT, *Guidelines accompanying Commission Delegated Regulation (EU) No 244/2012 of 16 January 2012 supplementing Directive 2010/31/EU*, Brussels, 2012.

EUROPEAN PARLIAMENT, *DIRECTIVE 2010/31/EU of the European Parliament and of Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast)*. Official Journal of the European Union, Brussels, 2010.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). *Standard EN ISO 15643-4: 2011. Sustainability of Construction*.

WORKS-ASSESSMENT OF BUILDINGS-PART 4: *Framework for the Assessment of Economic Performance*; European.

COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, Brussels, 2011.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). *Standard EN ISO 16627: 2015. Sustainability of Construction*.

WORKS - *Assessment of Economic Performance of Buildings-Calculation Methods*; European Committee for Standardization, Brussels, 2015.

EUROPEAN STANDARD EN 13790. *Thermal performance of buildings - Calculation of energy use for space heating. Distributed through the Comité Européen de Normalisation (International Committee on Standardization)*, Brussels, 2005.

[  
EUROSTAT. Available online: [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Electricity\\_price\\_statistics](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Electricity_price_statistics) (accessed on 10 February 2017).

FLANAGAN R., NORMAN G., *Life Cycle Costing for Construction*, Royal Institution of Chartered Surveyors, London, 1983.

FREGONARA E., CURTO R., GROSSO M., MELLANO P., ROLANDO D., TULLIANI J.M., *Environmental Technology, Materials Science, Architectural Design, and Real Estate Market Evaluation: A Multidisciplinary Approach for Energy-Efficient Buildings*, Journal of Urban Technology, N. 20, 2013, pp. 57-80.

FREGONARA E., GIORDANO R., ROLANDO D., TULLIANI J.M., *Integrating Environmental and Economic Sustainability in New Building Construction and Retrofits*. Journal of Urban Technology, 2016, 23, 3-28.

FREGONARA E., GIORDANO R., FERRANDO D. G., PATTONO S., *Economic-Environmental Indicators to Support Investment Decisions: A Focus on the Buildings' End-of-Life Stage*, Buildings, Vol. 7, n. 3, 2017 a, pp. 1-20.

FREGONARA E., LO VERSO V.R.M., LISA M., CALLEGARI G., *Retrofit scenarios and economic sustainability. A case-study in the Italian context*. Energy Procedia, vol. 111C, 2017 B, pp. 245-255.

FREGONARA E., ROLANDO D., SEMERARO P., *Energy performance certificates in the Turin real estate market*, Journal of European Real Estate research, 10, 2, 2017, pp. 149-169.

GLUCH P., BAUMANN H., *The life cycle costing (LCC) approach: a conceptual discussion of its usefulness for environmental decision-making*, Building and Environment, 2004, 39,5, pp.571-580.

GOH B.H., SUN. Y., *The development of life-cycle costing for buildings*. Building Research and Information, 2015, 44,3, pp. 319-333.

GUNDES S., *The Use of Life Cycle Techniques in the Assessment of Sustainability*, Procedia of Social and Behavioral Sciences, 216, 2016, pp. 916-922

HAN G., SREBRIC J., ENACHE-POMMER E., *Variability of optimal solutions for building components based on comprehensive life cycle cost analysis*, Energy and Buildings, 2014, 79, pp. 223-231.

ITALIAN MINISTRY FOR THE ECONOMIC DEVELOPMENT, *National guide lines for building energy certification*, Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana no. 158, July 10, 2009.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 15686:2008; Buildings and Constructed Assets - Service-Life*

PLANNING-PART 5: LIFE CYCLE COSTING; *ISO/TC 59/CS 14*; International Organization for Standardization, Geneva, 2008.

ITALIAN ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *UNI 8290-1:1981-Residential Building. Building Elements. Classification and Terminology*; Italian Organization for Standardization (UNI), Milan, 1981.

LANGDON D., *LIFE CYCLE COSTING (LCC) as a contribution to sustainable construction: a common methodology – Final*

*methodology*, 2007, [http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/construction/studies/life-cycle-costing\\_en.htm](http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/construction/studies/life-cycle-costing_en.htm).

KÖNIG H., KOHLER N., KREISSIG J., LÜTZKENDORF T., *A life cycle approach to buildings. Principles, Calculations, Design tools*, Detail Green Books, Regensburg, 2010.

MANCARELLA P., *MES (multi-energy systems): An overview of concepts and evaluation models*, Energy, Volume 65, 1 February 2014, Pages 1-17.

MANFREN M., CAPUTO P., COSTA G., *Paradigm shift in urban energy systems through distributed generation: Methods and models*, Applied Energy, Volume 88, Issue 4, April 2011, Pages 1032-1048

MARTÍN-MARTÍNEZ F., SÁNCHEZ-MIRALLES A., RIVIER M., CALVILLO C.F., *Centralized Vs Distributed Generation. A Model to Assess The Relevancfe of some Thermal and Electric Factors*. application to the spanish case study, Energy, Vol. 134, 1 September 2017, pp. 850-863.

MORANO P., TAJANI F., *The Break-Even Analysis applied to urban renewal investments: a model to evaluate the share of social housing financially sustainable for private investors*, Habitat International, vol. 59, 2017, pp. 10-20.

MOSANNENZADEH F., DI NUCCI M.R., VETTORATO D., *Identifying and prioritizing barriers to implementation of smart energy city projects in Europe: An empirical approach*, Energy Policy, Volume 105, June 2017, Pages 191-201.

PAGANI R.; SAVIO L.; CARBONARO C., *Lessons Learnt from an Urban Community: the "Concerto AL Piano" experience*. In: 9th International Conference Improving Energy Efficiency in Commercial Buildings and Smart Communities, Frankfurt, Germany, 16-18 March 2016. pp. 113-123.

PAGANI R., CARBONARO C., LORENZO S., *Conterto AL Piano : a sustainable urban demonstration project*, SBE16 Towards Post-Carbon Cities, Torino, 2016, pp. 459-468.

PAGANI R., SAVIO L., CARBONARO C., BOONSTRA C., DE OLIVEIRA FERNANDES E., *Concerto AL piano*. Sustainable urban transformations. FrancoAngeli, milano, 2016, pp. 1-171.

REGIONE PIEMONTE, *Prezzi di Riferimento per Opere e Lavori Pubblici Nella Regione Piemonte*; Torino, Assessorato alle opere Pubbliche, 2016.

RISTIMÄKI M., SÄYNÄJOKI A., HEINONEN J., JUNNILA S., *Combining life cycle costing and life cycle assessment for an analysis of a new residential district energy system design*, Energy, 2013, 63,15, pp. 168-179.

SCHMIDT W.P., *Life Cycle Costing as Part of Design for Environment: Business Cases*, International Journal of Life Cycle Assessment, n. 8, 2003, pp. 167-174.

SCHNEIDEROVA HERALOVA R., *Life Cycle Cost Optimization Within Decision Making on Alternative Designs of Public Buildings*, Procedia Engineering, 2014, 85, pp. 454-463.

THIEBAT F., *Life-cycle design for sustainable architecture*, Techne, n. 5, 2013, pp.177-183.

UNI/Ts 11300-1, *Building energy performance - Part 1: Evaluation of the energy need for space heating and cooling*, 2014.

UNI/Ts 11300-2, *Building energy performance - Part 2: Evaluation of the primary energy need and of system efficiencies for space heating and domestic hot water production*, 2014.

UNI/Ts 11300-4:2016 - *Prestazioni energetiche degli edifici – Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di genera-*

*zione per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria.*

5- UNI/Ts 11300-5:2016 - *Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 5: Calcolo dell'energia primaria e della quota di energia da fonti rinnovabili.*



